

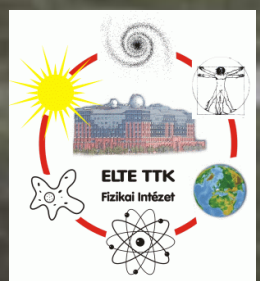


Az Élet, a Világmindenség meg Minden

az Univerzum története
a Nagy Bummtól az
értelemig és tovább

Dávid Gyula
2024. 09. 12.

Az atomoktól a csillagokig
huszadik évad









Az Élet, a Világmindenség meg Minden





Az Élet, a Világmindenség meg Minden

az Univerzum története
a Nagy Bummtól az
értelemig és tovább





Az Élet, a Világmindenség meg Minden

az Univerzum története
a Nagy Bummtól az
értelemig és tovább

Dávid Gyula
2024. 09. 12.

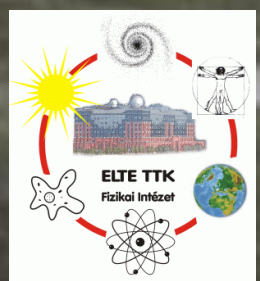


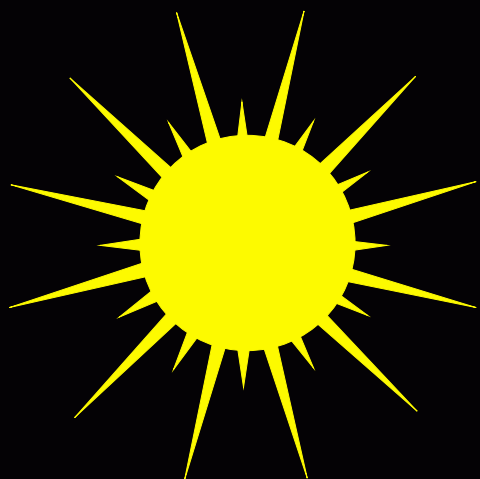
Az Élet, a Világmindenség meg Minden

az Univerzum története
a Nagy Bummtól az
értelemig és tovább

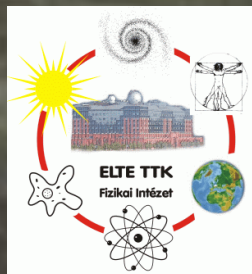
Dávid Gyula
2024. 09. 12.

Az atomoktól a csillagokig
huszadik évad

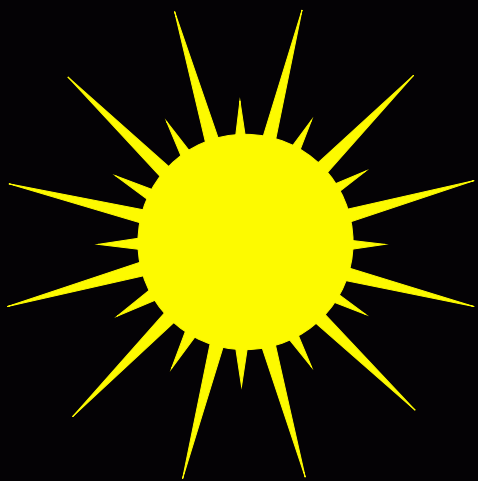




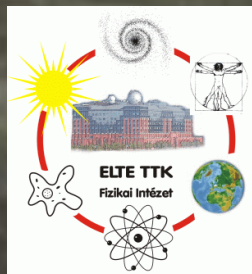
Dávid Gyula
2024. 09. 12.



Az atomoktól a csillagokig
huszadik évad



Dávid Gyula
2024. 09. 12.



Az atomoktól a csillagokig
huszadik évad

Előszó

***Most már épp eleget tudunk
a fizikából ahhoz, hogy
megérthessünk egy olyan
egyszerű dolgot, mint
egy csillag.***

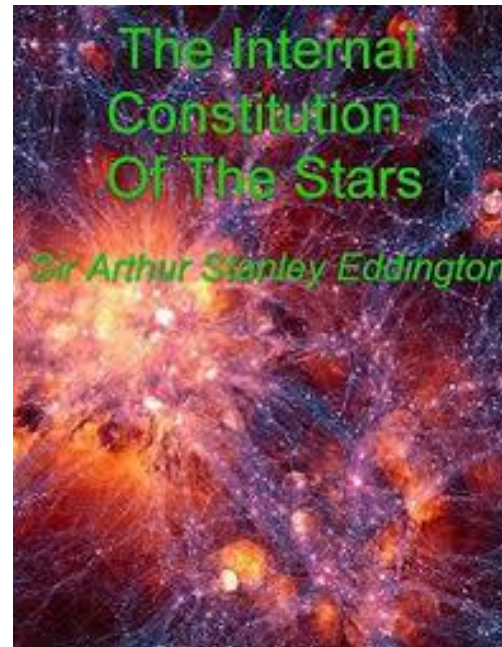
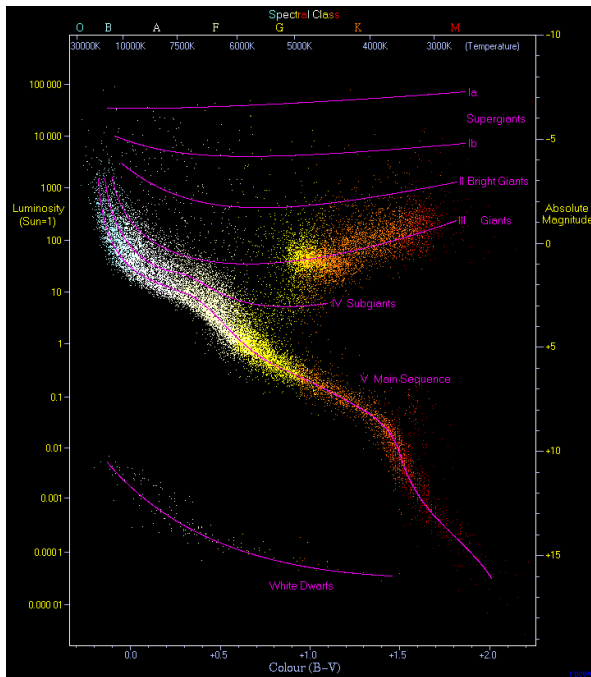
***Sir Arthur S. Eddington
1926***



Előszó

***Most már épp eleget tudunk
a fizikából ahhoz, hogy
megérthessünk egy olyan
egyszerű dolgot, mint
egy csillag.***

***Sir Arthur S. Eddington
1926***



Előszó

***Most már épp eleget tudunk
a fizikából ahhoz, hogy
megérthessünk egy olyan
egyszerű dolgot, mint
egy csillag.***

***Sir Arthur S. Eddington
1926***



Azóta eltelt egy évszázad

az észlelő és az elméleti csillagászat
a műszertechnika
a kísérleti és elméleti fizika
az adatfeldolgozási módszerek

hihetetlen mértékű fejlődésével.

***Most már épp eleget tudunk
a fizikából ahhoz, hogy
megérthessünk egy olyan
egyszerű dolgot, mint
a Világegyetem.***

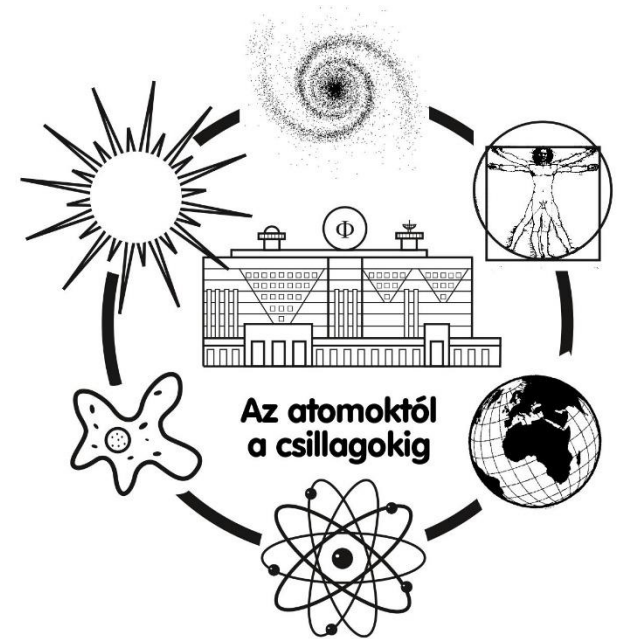
(legalábbis nagy vonalakban)



Előszó

***Most már épp eleget tudunk
a fizikából ahhoz, hogy
megérthessünk egy olyan
egyszerű dolgot, mint
egy csillag.***

***Sir Arthur S. Eddington
1926***



Azóta eltelt egy évszázad

az észlelő és az elméleti csillagászat
a műszertechnika
a kísérleti és elméleti fizika
az adatfeldolgozási módszerek

hihetetlen mértékű fejlődésével.

***Most már épp eleget tudunk
a fizikából ahhoz, hogy
megérthessünk egy olyan
egyszerű dolgot, mint
a Világegyetem.***

(legalábbis nagy vonalakban)



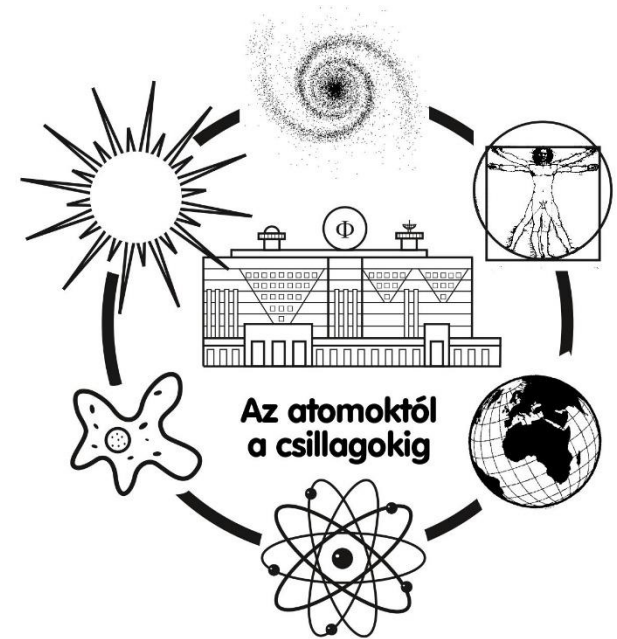
Előszó

Sőt olyan sokat tudunk erről az egyszerű, ám táguló Világegyetemről, hogy a táguló tudásunk legtömörebb kivonata sem fért bele egyetlen előadásba.

Ezért most csak az első részt mondom el.

Második rész egy extra Atomcsill előadáson:
2024. október 4.
kivételesen **pénteken**
17 órakor, ugyanitt.

Minden érdeklődőt szeretettel várunk!



Most már épp eleget tudunk a fizikából ahhoz, hogy megérthessünk egy olyan egyszerű dolgot, mint a Világegyetem.

(legalábbis nagy vonalakban)

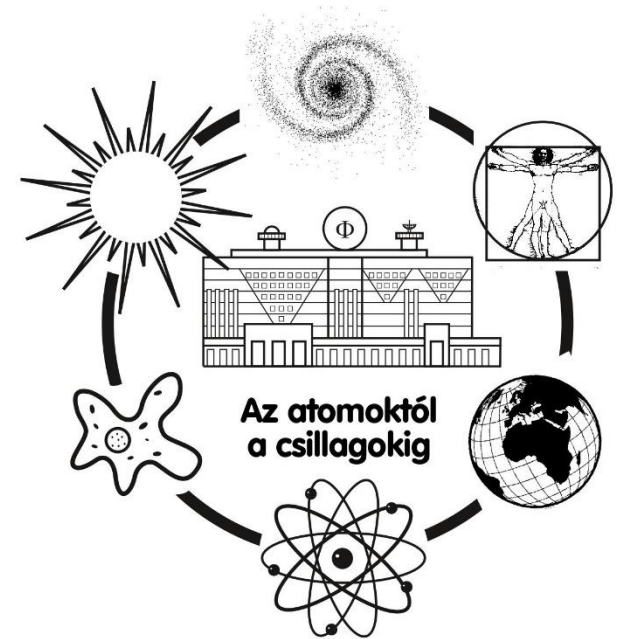


Előszó

a részletek komplexek
de a nagy kép egyszerű

alapjai:

csillagászati megfigyelések
a fizika megismert alaptörvényei
általános relativitáselmélet
kvantumelmélet
részecskefizika
termodinamika



***Most már épp eleget tudunk
a fizikából ahhoz, hogy
megérthessünk egy olyan
egyszerű dolgot, mint
a Világegyetem.***

(legalábbis nagy vonalakban)



dgy: Határtalan (?) Világegyetem
Atomcsill, 2019.01.17

dgy: Gravitáció és geometria
Atomcsill, 2014.09.18

dgy: A következő 137 kvintillió év
Atomcsill, 2021.09.09

dgy: Szimmetriák és reaktorok
Atomcsill, 2017.11.16

dgy: Struktúrák térben és időben
Atomcsill, 2019.10.10

dgy: Relativisztikus paradoxonok
Atomcsill, 2009.01.15

dgy: Feltámadás a hőhalálból
Atomcsill, 2024.09.14

dgy: A fekete fény
Atomcsill, 2015.09.10

dgy: Az Univerzum anyagai
Atomcsill, 2010.09.30

dgy: A tömeg eredete és a Higgs-mező
Atomcsill, 2012.09.13

dgy: Kirándulás a nukleáris völgybe
Atomcsill, 2011.09.29

dgy: A sötét anyag nyomában
Atomcsill, 2016.09.08

dgy: A lehűléstől forrósodó téglá
Atomcsill, 2012.01.19

dgy: Hamuval fűteni
Atomcsill, 2013.01.10

dgy: Szupernóva
Atomcsill, 2013.09.19



Cserti József: Az optika – a kvantummechanika előszobája
Atomcsill, 2012.11.08

Kis-Tóth Ágnes:
Fekete lyukak
Atomcsill, 2022.01.27

Skrapits Lajos:
A gravitációs kút és az inga
Atomcsill, 2010.10.14

Gruiz Márton:
A káosz fizikája
Atomcsill, 2010.01.14

Timár Gábor:
Eötvös Loránd és a Föld alakja
Atomcsill, 2010.03.25

Jánosi Dániel:
Amikor a káosz sem állandó
Atomcsill, 2024.01.25

Raffai Péter:
Csillagászat gravitációs hullámokkal
Atomcsill, 2017.04.06

Cserti József:
Eötvöstől Einsteinig
Atomcsill, 2014.09.11



Kovács András: Sötét energia
Atomcsill, 2024.03.21

Nógrádi Dániel: Túl a Standard Modellen
Atomcsill, 2022.03.24

Csabai István: Az Univerzum 3D térképe
Atomcsill, 2015.11.19

Vigh Máté: Rend a rendezetlenségből
Atomcsill, 2023.04.13

Sótér Anna: Mérlegen az antianyag
Atomcsill, 2015.03.12

Katz Sándor: Az axion mint sötét anyag
Atomcsill, 2018.04.12

Patkós András: Részecskék az Univerzumban
Atomcsill, 2006.02.16

Lájer Márton: Erős kölcsönhatás
Atomcsill, 2022.12.08

Takács Gábor: Értjük-e a kvantummechanikát?
Atomcsill, 2022.11.24

Nógrádi Dániel: Elemi részecskék
Atomcsill, 2016.04.14

Geszti Tamás: Kvantummechanika
Atomcsill, 2007.11.22

Katz Sándor: Az anyag eredete
Atomcsill, 2007.09.27

Katz Sándor: A látható világegyetem tömege
Atomcsill, 2010.04.22



További kapcsolódó előadások az Atomcsill jubileumi, huszadik évadában:

Kis-Tóth Ágnes:
Terítéken a távoli világűr
Atomcsill, 2024.10.24

Cserti József:
Nem élhetünk kvantummechanika nélkül
Atomcsill, 2025.01.09

Csordás András:
Statisztikus fizika, fázisátalakulások
Atomcsill, 2025.02.20

Csanád Máté:
Hogyan működik az atommag anyaga?
Atomcsill, 2025.03.06

Veres Gábor:
Honnan tudjuk, amit a részecskékről tudunk?
Atomcsill, 2025.03.20

Ezek is elérhetők
lesznek: atomcsill.elte.hu

Katz Sándor:
Az elemi részecskék fizikája
Atomcsill, 2025.04.03



Az Élet, a Világmindenség meg Minden

**az Univerzum története
a Nagy Bummtól az
értelemig és tovább**

- 1. Az Univerzum**
- 2. A téridő**
- 3. A tágulás dinamikája**
- 4. Az anyag**
- 5. Az Univerzum anyagának szabályos története**
- 6. Hoppá! Egy meglepő közjáték**
- 7. A hetedik te magad légy!**



Az Élet, a Világmindenség meg Minden

az Univerzum története
a Nagy Bummtól az
értelemig és tovább

1. Az Univerzum

2. A téridő

3. A tágulás dinamikája

4. Az anyag

5. Az Univerzum anyagának szabályos története

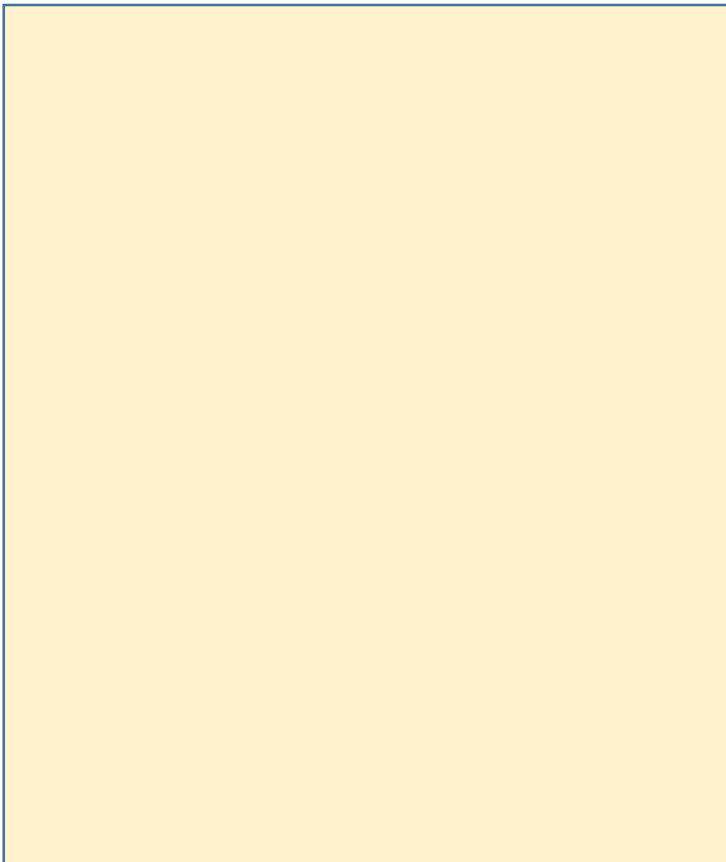
6. Hoppá! Egy meglepő közjáték

7. A hetedik te magad légy!

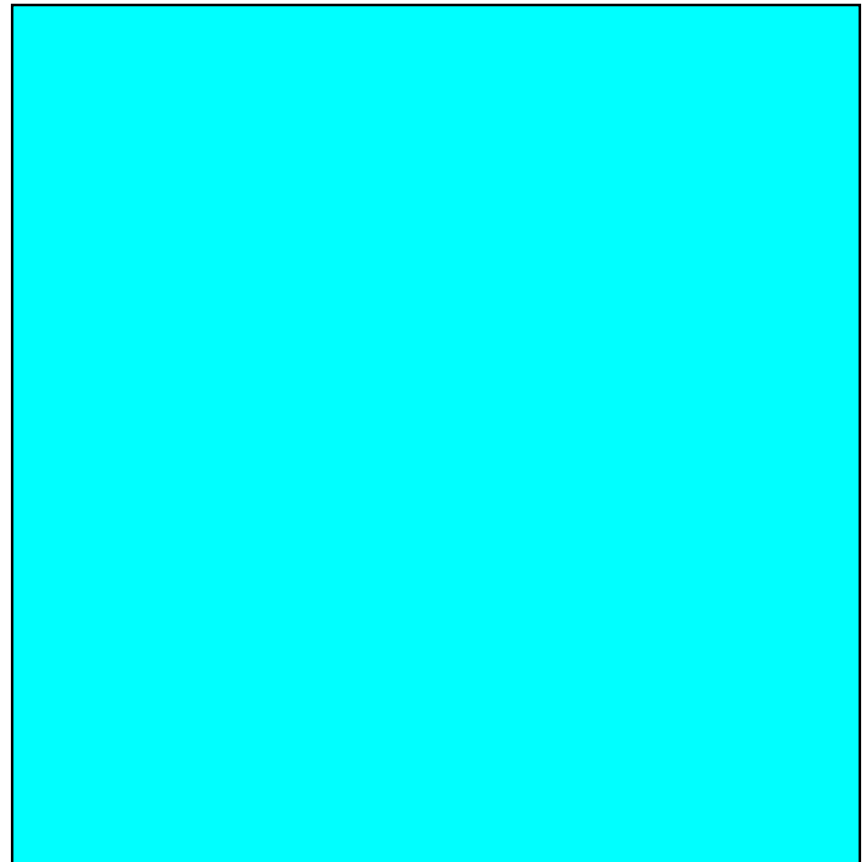


Mi az Univerzum?

Tévhitek az Univerzumról



Tények az Univerzumról



Mi az Univerzum?

Tévhitek az Univerzumról

filozófiai fogalom

Tények az Univerzumról

fizikai fogalom



Mi az Univerzum?

Tévhitek az Univerzumról

filozófiai fogalom

MINDEN

Tények az Univerzumról

fizikai fogalom

egy konkrét anyagi rendszer
(kb. 14 milliárd fényév sugarú
gömb körülöttünk)



Mi az Univerzum?

Tévhitek az Univerzumról

filozófiai fogalom

MINDEN

definíció szerint végtelen
(térben és időben)

Tények az Univerzumról

fizikai fogalom

egy konkrét anyagi rendszer
(kb. 14 milliárd fényév sugarú
gömb körülöttünk)

ez tapasztalati kérdés

Mi az Univerzum?

Tévhitek az Univerzumról

filozófiai fogalom

MINDEN

definíció szerint végtelen
(térben és időben)

kiismerhetetlen

Tények az Univerzumról

fizikai fogalom

egy konkrét anyagi rendszer
(kb. 14 milliárd fényév sugarú
gömb körülöttünk)

ez tapasztalati kérdés

megismerhető, megérthető



Mi az Univerzum?

Tévhitek az Univerzumról

filozófiai fogalom

MINDEN

definíció szerint végtelen
(térben és időben)

kiismerhetetlen

puszta gondolkodással
tanulmányozandó

Tények az Univerzumról

fizikai fogalom

egy konkrét anyagi rendszer
(kb. 14 milliárd fényév sugarú
gömb körülöttünk)

ez tapasztalati kérdés

megismerhető, megérthető

a természettudomány módszereivel
vizsgálандó

Megismerési módszer

Alapja: **a világ anyagi egysége**

ez nem filozófiai tétel,
hanem **tapasztalati tény!**

csillagászati megfigyelések

- objektumok
- eloszlásuk
- tulajdonságaik
- az Univerzum tágulása

a Földön megismert fizikai törvények

- kvantumelmélet
- relativitáselmélet
- termodinamika
- részecskefizika

néhány tapasztalaton alapuló hipotézis

matematika + számítógépek

az egész belátható
Univerzumban
mindig és mindenütt
ugyanazok az elemi
objektumok és
ugyanazok a fizikai
törvények vannak
jelen

dgy: **A következő
137 kvintillió év**
Atomcsill, 2021.09.09

output: **az Univerzum és alkotórészeinek története**



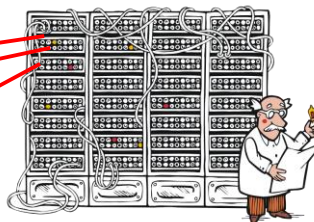
Az Univerzum története a struktúrák kialakulásának és fejlődésének története!

a történet tudományos rekonstrukciójának módszere:

INPUT:

- fizikai törvények
- számadatok
- homogén kezdeti feltételek

a kiinduló adatok vagy
elméletek módosítása, javítása



OUTPUT:

- a fizikai mennyiségek „története”
(pl. $T(t)$ függvény)
- a struktúrák története
- **a jelenlegi Univerzum tulajdonságai**
(pl. a galaxisok, csillagok
mérete, eloszlása,
a kémiai elemek gyakorisága...)

VISSZACSATOLÁS

összehasonlítás a csillagászati
tapasztalatokkal

REPEAT UNTIL FIT

Ha a modell végül jól visszaadja a jelenlegi
Univerzumot, elhisszük, hogy az ide vezető
történetet, azaz a múltat is jól leírja



Milyen az Univerzum?

- nagy
- hideg
- hűl
- tágul
- nagyon szimmetrikus
(homogén)

+ érdekes!

Milyen az Univerzum?

- **nagy**
- hideg
- hűl
- tágul
- nagyon szimmetrikus (homogén)

mihez képest?
hozzánk képest!

Penrose és Hawking:

Miért ilyen nagy az Univerzum?

És miért olyan kicsik az atomok?

az **antropikus problémakör**ről
lásd

dgy: **A lakható Világegyetem**
előadássorozat 2019



Milyen az Univerzum?

- nagy
- **hideg**
- hűl
- tágul
- nagyon szimmetrikus (homogén)

mihez képest?
**a részecskék
tömegéhez képest!**

$$E = kT \quad E = m c^2$$

$$1 \text{ eV} \sim 10000 \text{ K}$$

A legkisebb tömegű részecske, az elektron tömege **1 MeV**

Ez 10 milliárd K-nak felel meg

Ezzel szemben az Univerzumot kitöltő **háttérsugárzás** hőmérséklete **2,7 K**



Milyen az Univerzum?

- nagy
- hideg
- **hűl**
- tágul
- nagyon szimmetrikus (homogén)

honnan tudjuk?

Az Univerzumot kitöltő
háttérsugárzás
hőmérséklete 2,7 K

Ez egy hajdani **3–4000 K**
hőmérsékletű plazma
maradványsugárzása.

Azóta az univerzum lehűlt.

dgy: **A fekete fény**
Atomcsill, 2015.09.10

dgy: **Feltámadás a hőhalálból**
Atomcsill, 2023.09.14



Milyen az Univerzum?

- nagy
- hideg
- hűl
- **tágul**
- nagyon szimmetrikus (homogén)

honnan tudjuk?

a galaxisok távolodásából

(és későbbi közvetettebb bizonyítékokból)

dgy: **Határtalan (?) Világegyetem**
Atomcsill, 2019.01.17

dgy: **A következő 137 kvintillió év**
Atomcsill, 2021.09.09



Milyen az Univerzum?

- nagy
- hideg
- hűl
- tágul
- **nagyon szimmetrikus (homogén)**

mit jelent ez?

homogén: adott pillanatban mindenhol ugyanolyan

ezt mondja ki a Brunotól származó **kozmológiai elv**

de az Univerzum homogenitása nem filozófiai tétel, hanem **tapasztalati tény!**



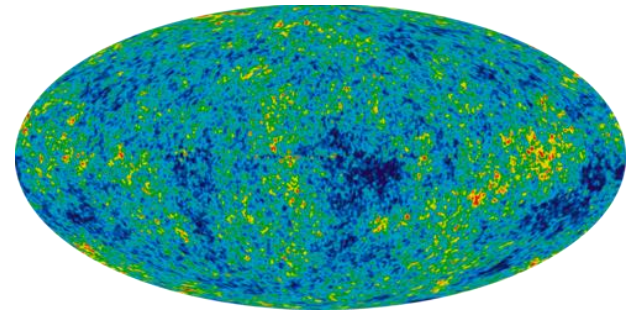
Milyen az Univerzum?

- nagy
- hideg
- hűl
- tágul
- **nagyon szimmetrikus (homogén)**

honnan tudjuk?

az anyageloszlás nagy léptékben homogén

a **háttérsugárzás**
4 tizedes pontossággal **izotróp** (minden irányban egyforma hőmérsékletű)



a sík asztallap térképe

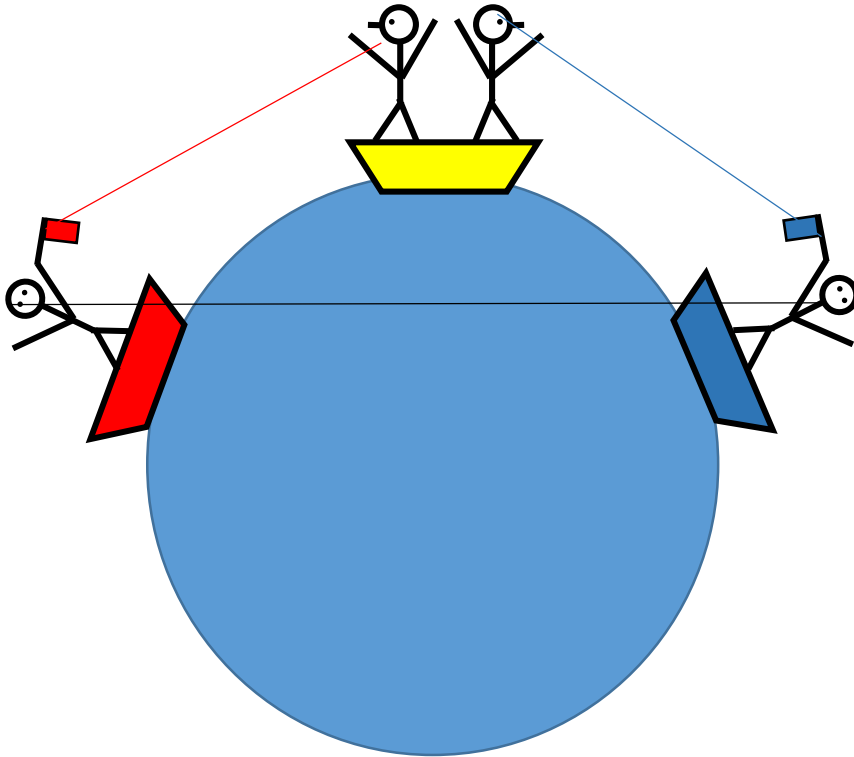
az izotrópiából következik a homogenitás

dgy: **Feltámadás a hőhalálból**
Atomcsill, 2023.09.14



Miért meglepő tapasztalati tény az Univerzum homogenitása?

horizontprobléma



Miért üzenik ugyanazt a matrózok?



A háttérsugárzás távoli forrásai sohasem voltak egymással kapcsolatban, termodinamikai egyensúlyban.

Miért egyforma mégis a hőmérsékletük?

Miért fontos és hasznos tapasztalati tény az Univerzum homogenitása?

Egy adott pillanatban a világ mindenütt ugyanolyan



ezért a fizikai mennyiségek csak az időtől függenek!

ezeket **egyszerűbb kiszámítani**, mint a helytől is függő mennyiségeket!

energiasűrűség $\epsilon(t)$

nyomás $p(t)$

hőmérséklet $T(t)$

No de milyen „időtől” függenek a fizikai mennyiségek?

Hiszen már a speciális relativitáselméletben is a **megfigyelő sebességétől**, az általános relativitáselméletben meg a **gravitációs potenciáltól** is függ az idő mérése!

Van-e egyáltalán értelme azt kérdezni, hogy hány éves az Univerzum?



Miért fontos és hasznos tapasztalati tény az Univerzum homogenitása?

EZÉRT fontos tapasztalati tény az Univerzum homogenitása!

**Ez teszi lehetővé a
VILÁGIDŐ
bevezetését**

Így minden galaxis lakói megegyezhetnek az univerzum életkorában, és ugyanazt az értéket kapják!

Van-e egyáltalán értelme azt kérdezni, hogy hány éves az Univerzum?

Össze-vissza görbülő téridőben általában nincs értelme.

De speciálisan szimmetrikus, homogén anyageloszlású téridőben van!

Info:

Az Univerzum életkora **13,8 milliárd év**, azaz **$4,4 * 10^{17}$ másodperc**



→ IDŐ

az általános relativitáselmélet (GR) szerint

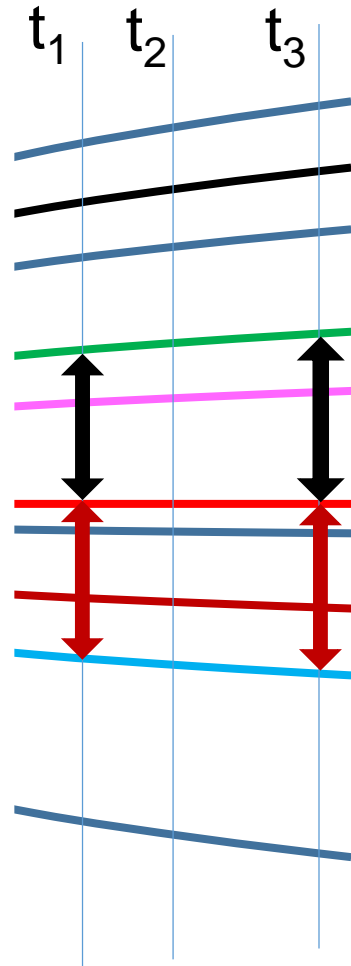
homogén anyageloszlás esetén

bevezethető olyan koordinátázás,

amelyben az egyes anyagdarabok „állnak” (helykoordinátájuk állandó),

de a távolságuk a **t világidő** függvényében változik

ezt a változást egy közös **a(t)** „skálafüggvény írja le



$$d_{12}(t) = \mathbf{a}(t) (x_1 - x_2)$$

$x_1 = \text{állandó}$

$x_2 = \text{állandó}$

$x_3 = \text{állandó}$

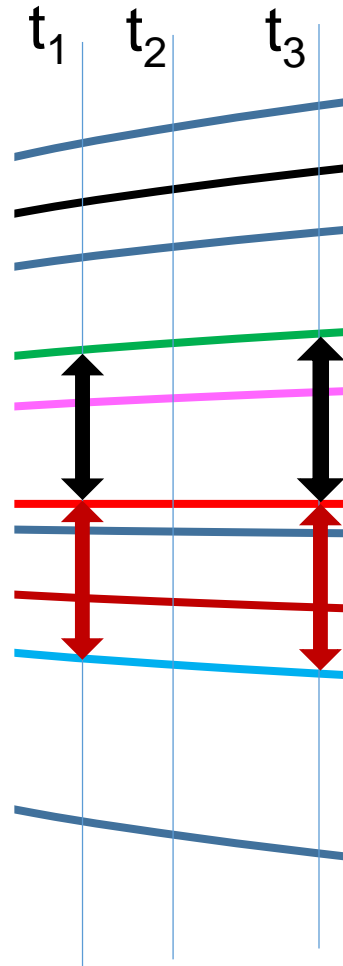
$$d_{23}(t) = \mathbf{a}(t) (x_2 - x_3)$$

Ezt mondjuk úgy, hogy nem az anyagdarabok mozognak, hanem a tér tágul köztük.

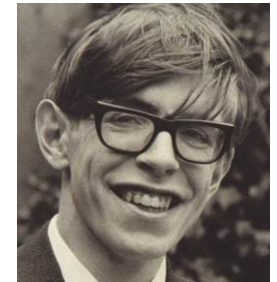
De mi határozza meg az **a(t)** függvényt?



→ IDŐ



R. Penrose
(1931–)
Nobel 2020



S. Hawking
(1942–2018)

**Penrose–Hawking-tétel
1965**

Létezik az időtengely különleges (szinguláris) pontja, ahol az $a(t)$ függvény értéke nulla.



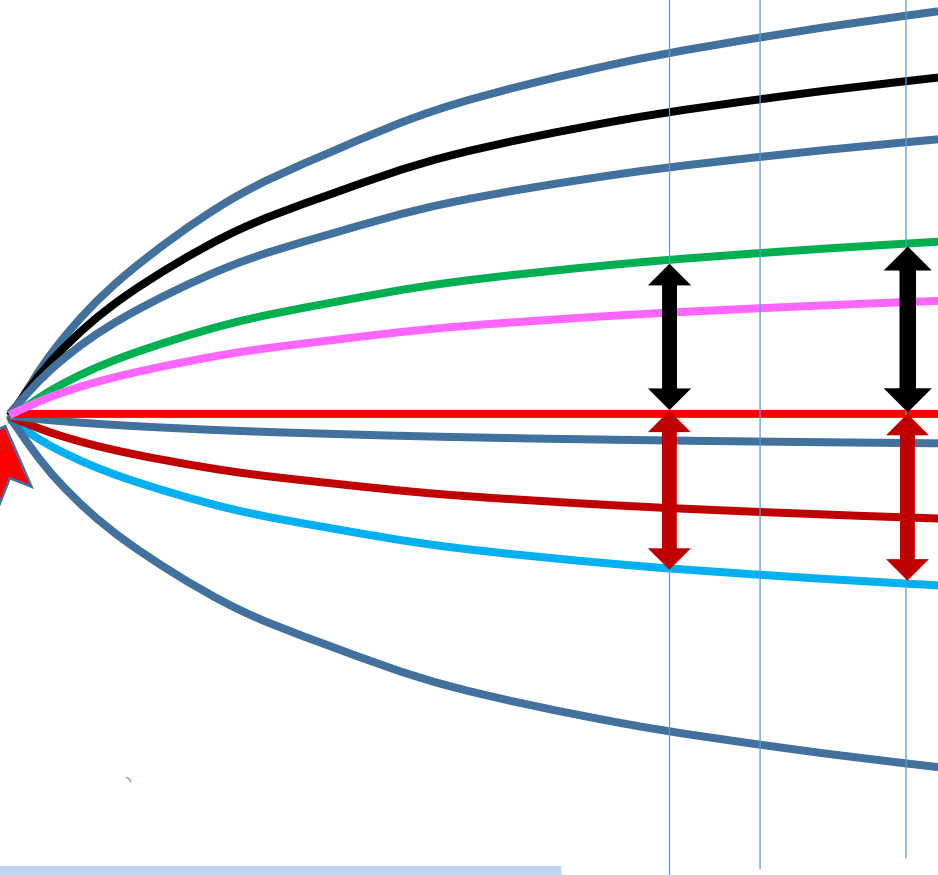


IDŐ

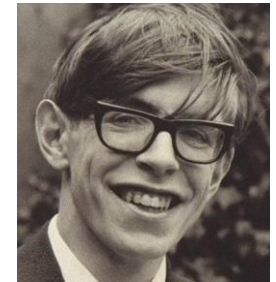
t_1

t_2

t_3



R. Penrose
(1931–)
Nobel 2020



S. Hawking
(1942–2018)

Penrose–Hawking-tétel 1965

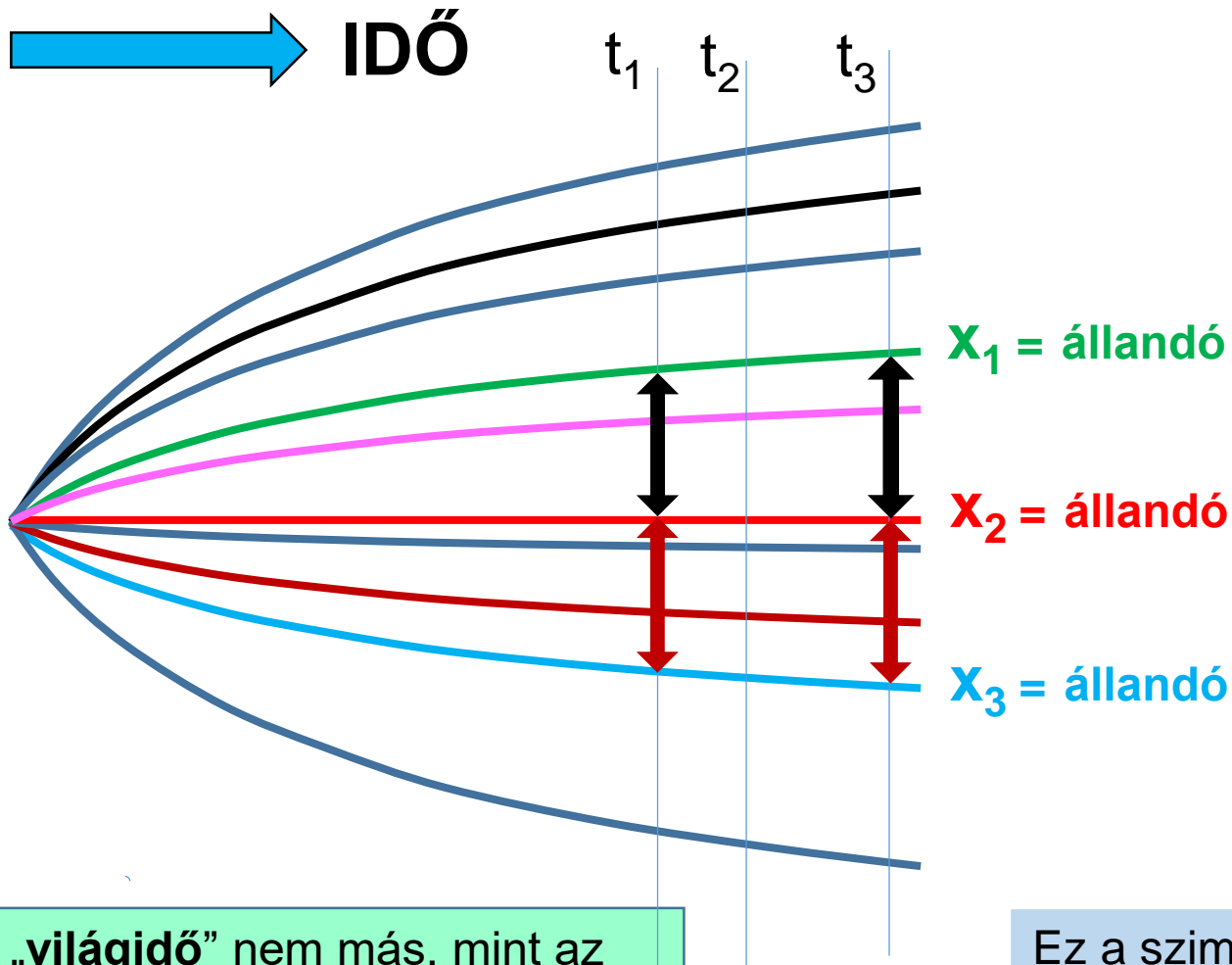
**Ez a Nagy Bumm
(Big Bang)
vagy a Nagy Reccs
(Big Crunch)**

Létezik az időtengely különleges (szinguláris) pontja, ahol az $a(t)$ függvény értéke **nulla**.

Ekkor a „nyugvó” testek közti távolság nulla

Válasszuk ezt a $t=0$ pontnak!

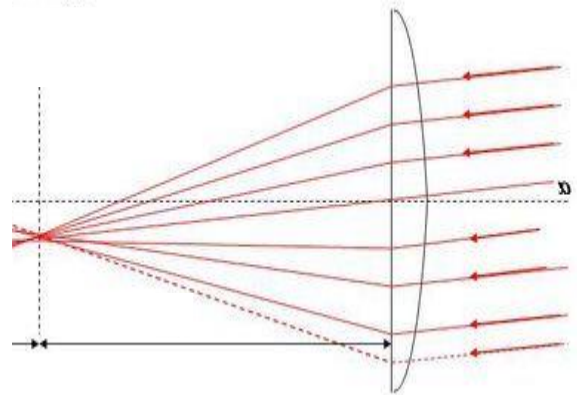
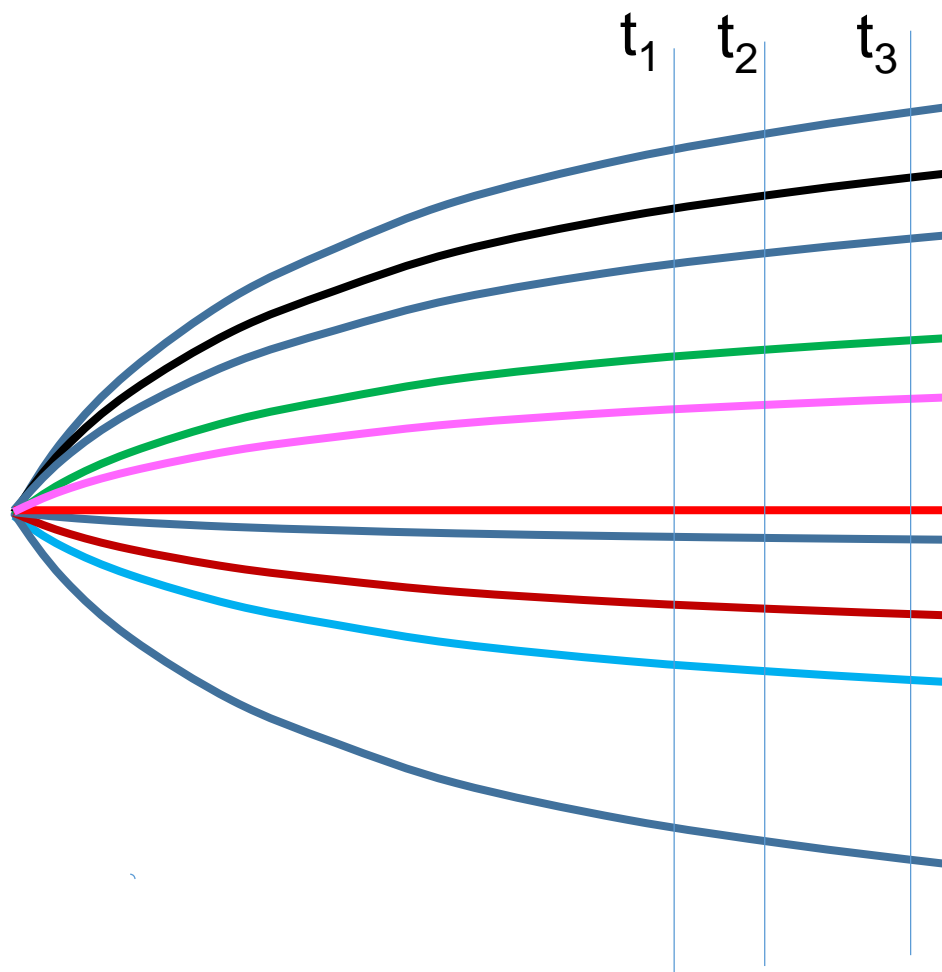




A „világidő” nem más, mint az egyes nyugvó testek (galaxisok) megfigyelőinek **sajátideje**, azaz a náluk nyugvó órák által mutatott idő.

Ez a szimmetria miatt minden nyugvó megfigyelő számára ugyanaz.

Honnan ismerős ez az ábra?

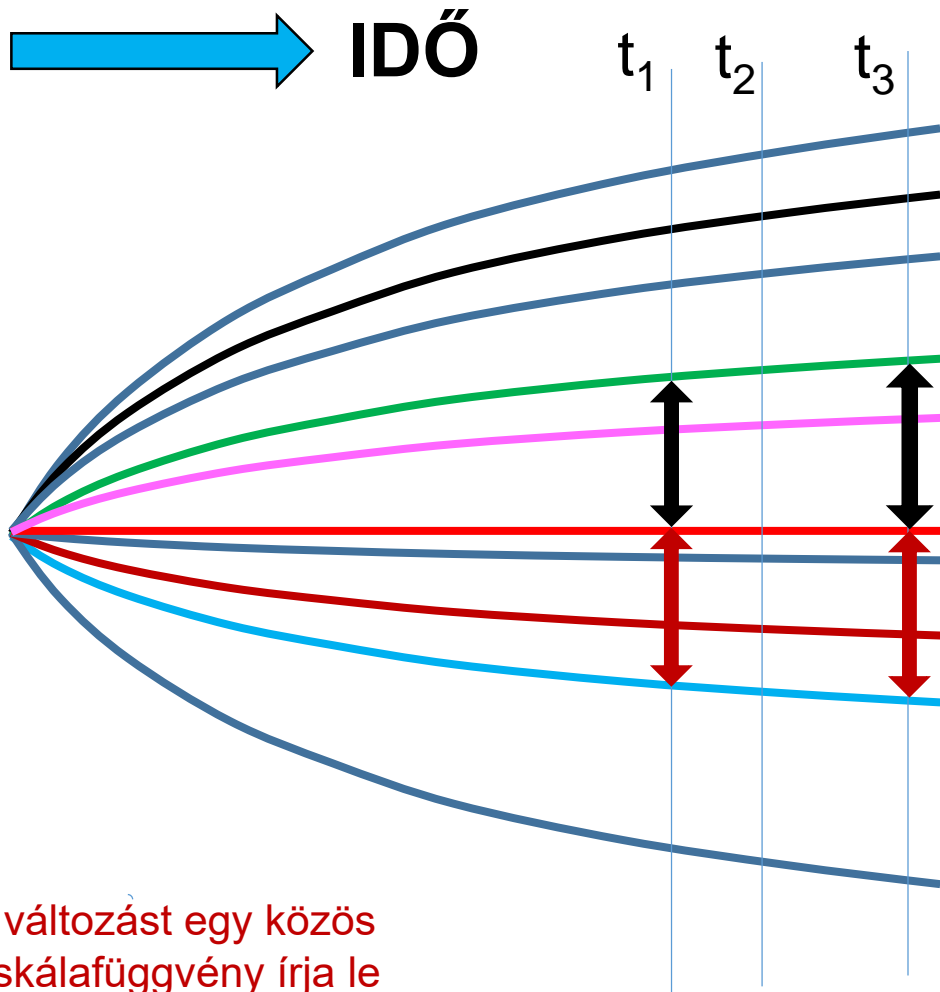


A geometriai optikából, a lencsék **fókuszpontja** matematikailag analóg a PH-szingularitással

Az optika nemcsak a kvantummechanikának, hanem a kozmológiának is előszobája!

Cserti József: Az optika – a kvantummechanika előszobája
Atomcsill, 2012.11.08





ezt a változást egy közös $a(t)$ „skálafüggvény írja le

De mi határozza meg az $a(t)$ függvényt?

1/ A fizika törvényei, ezen belül az általános relativitáselmélet

2/ A tapasztalat: az $a(t)$ függvényt meg kell mérni

Ezt mondjuk úgy, hogy nem az anyagdarabok mozognak, hanem a tér tágul köztük.



Részletek:

dgy:

Határtalan (?) Világegyetem

Atomcsill, 2019.01.17

Eredmény:

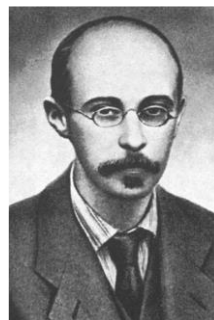
**a galaxisok
távolodnak**

**az $a(t)$ függvény
növekszik**

**az Univerzum
tágul**

**a hajdani Nagy
Bumm óta**

Fridman
1921-ben
kiszámolta



Hubble
1929-ben
megmérte

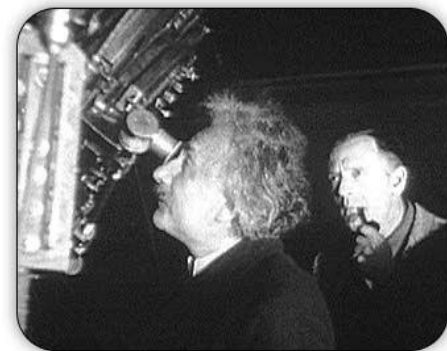


Einstein elfogadta

De mi határozza meg
az $a(t)$ függvényt?

1/ A fizika törvényei,
ezen belül az általános
relativitáselmélet

2/ A tapasztalat:
az $a(t)$ függvényt
meg kell mérni



Az Univerzum tágul

Tévhitek és rossz kérdések a tágulásról

Ős-”robbanás” ?

Egy véges test robbant fel?

Hol a tágulás középpontja?

Miért mi vagyunk a középpont?

Keressük meg a robbanás helyét!

Egy nagy űr (anyag nélküli tartomány) maradt a robbanás helyén?

Tények a tágulásról

A Nagy Bumm nem robbanás!

Nincs „üres tér”, amelybe robbanna.

Nincs „közepont”.

Minden „nyugvó” megfigyelő ugyanolyan világot lát maga körül

Az anyag **MINDIG** egyenletesen (homogén módon) tölti ki a teret.

A Nagy Bumm „mindenhol volt”.



Az Univerzum tágul

Kis-Tóth Ágnes:
Fekete lyukak
Atomcsill, 2022.01.27

Tévhitek és rossz kérdések a tágulásról

Ez a sűrű „ősanyag” meg a szingularitás emlékeztet a fekete lyukakra.

Lehet, hogy az egész világunk egy fekete lyuk belsejében van?

Tények a tágulásról

Nem lehet!

A fekete lyuk egy sűrű anyagdarabból jön létre a nagy semmi közepén,

ezzel szemben a Nagy Bumm esetében az anyag egyenletesen kitölti az egész teret.

Ez fizikailag és matematikailag is más eset!



Félig rossz kérdések a tágulásról

Mi a tágulás hajtóereje?

Egyszerű válaszok

Nincs szükség külön
„hajtóerőre”.

A tágulás (vagy
összeroppanás)
**a homogén anyag
természetes állapota.**

Mint Galilei és Newton
fizikájában az egyenes
vonalú egyenletes mozgás.

dgy:

Határtalan (?) Világegyetem
Atomcsill, 2019.01.17

(szemben az ókorral)



Félig rossz kérdések a tágulásról

Mibe tágul a világ?

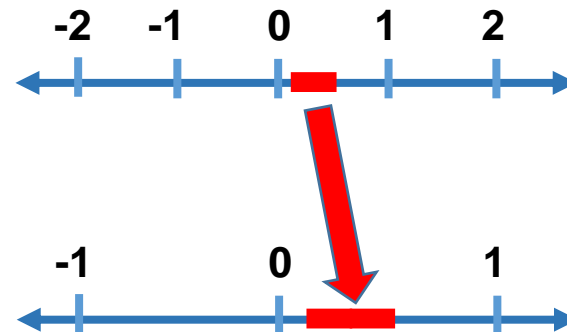
Mi van ott, ahova még nem
ért el a szétspriccelő anyag?

Egyszerű válaszok

önmagába

önmaga

példa: a számegyenes nagyítása



Félig rossz kérdések a tágulásról

Ma látjuk (rádiótávcsővel) a
háttérsugárzást, a hajdani
forró plazma fényét.

De tegnap is láttuk.
Sőt állítólag holnap is látni
fogjuk.

Egy hogyan lehetséges?
Hiszen a sugárzás
fénysebességgel terjed,
és holnap már nem lesz itt.

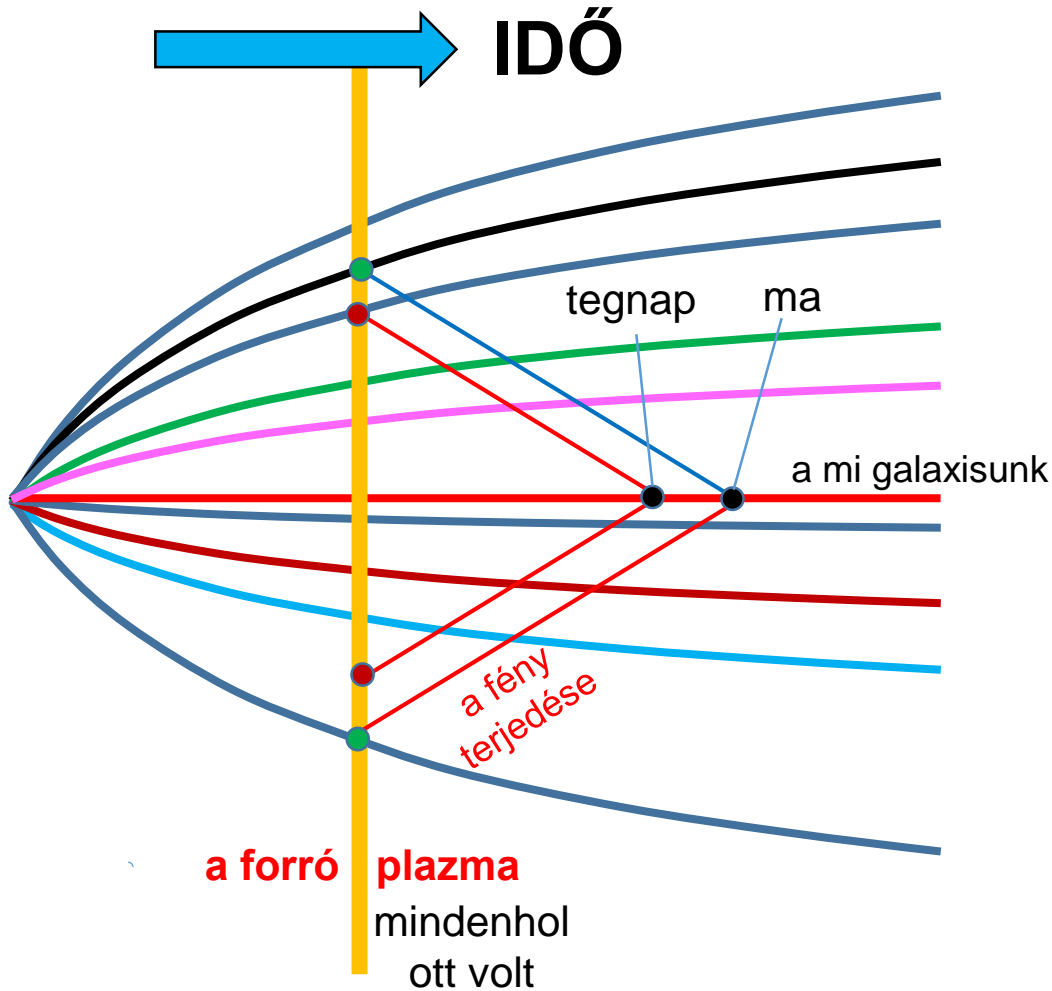
Egyszerű válaszok

A háttérsugárzás forrása
nem egy pontbeli
esemény, hanem a teret
egyenletesen kitöltő
hajdani forró anyag.

Ma **más anyagdarab**
sugárzását észleljük,
mint tegnap vagy holnap.



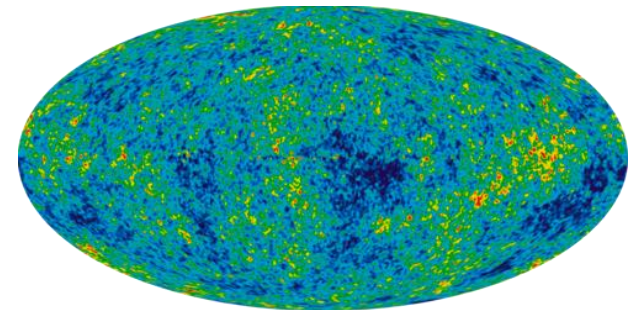
A háttérsugárzás terjedése



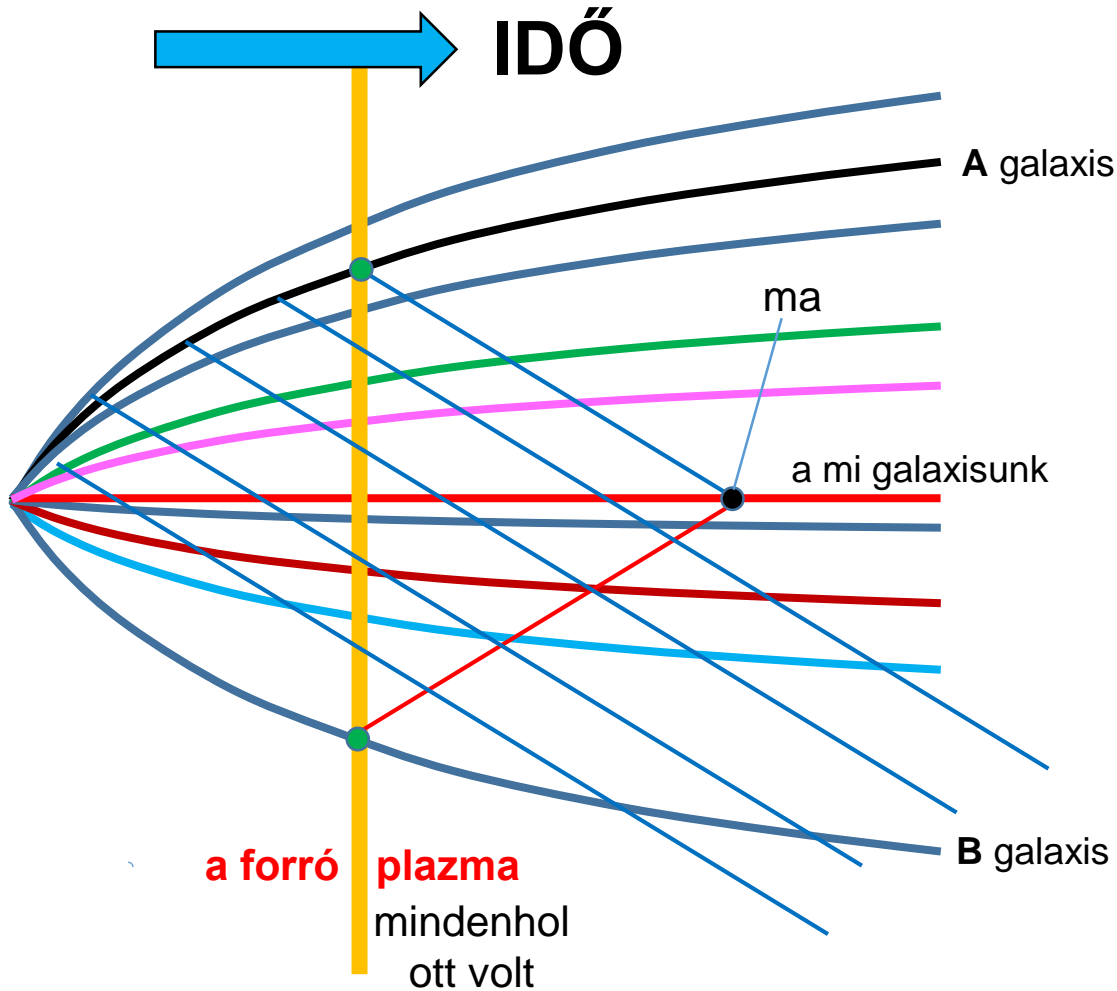
Apró bonyodalmak:

A tágulás miatti vöröseltolódás miatt ma kissé nagyobb hullámhosszú, azaz hidegebb sugárzást látunk, mint tegnap.

A sugárzás forrása nem tökéletesen homogén, ezért a hőmérséklet ötödik tizedesjegyében ingadozást látunk.



A háttérsugárzás terjedése



ismét a horizontproblémáról

az A galaxis anyaga által korábban kibocsátott fény a plazmakorszakig semmiképpen sem érhetette el a B galaxis anyagát

E két anyagdarab sohasem volt oksági kapcsolatban!

Mégis egyforma hőmérsékletűek, mintha termodinamikai egyensúlyban lettek volna.

Miért?





ilyen képet várnánk a világról:
sok önálló tartományocská

(a mesebeli királyfi átugrik a szomszéd országba lisztért és tojásért)

ismét a horizontproblémáról

az A galaxis anyaga által
korábban kibocsátott fény
a plazmakorszakig
semmiképpen sem
érhette el
a B galaxis anyagát

E két anyagdarab
sohasem volt oksági
kapcsolatban!

Mégis egyforma
hőmérsékletűek, mintha
termodinamikai
egyensúlyban lettek
volna.

Miért?

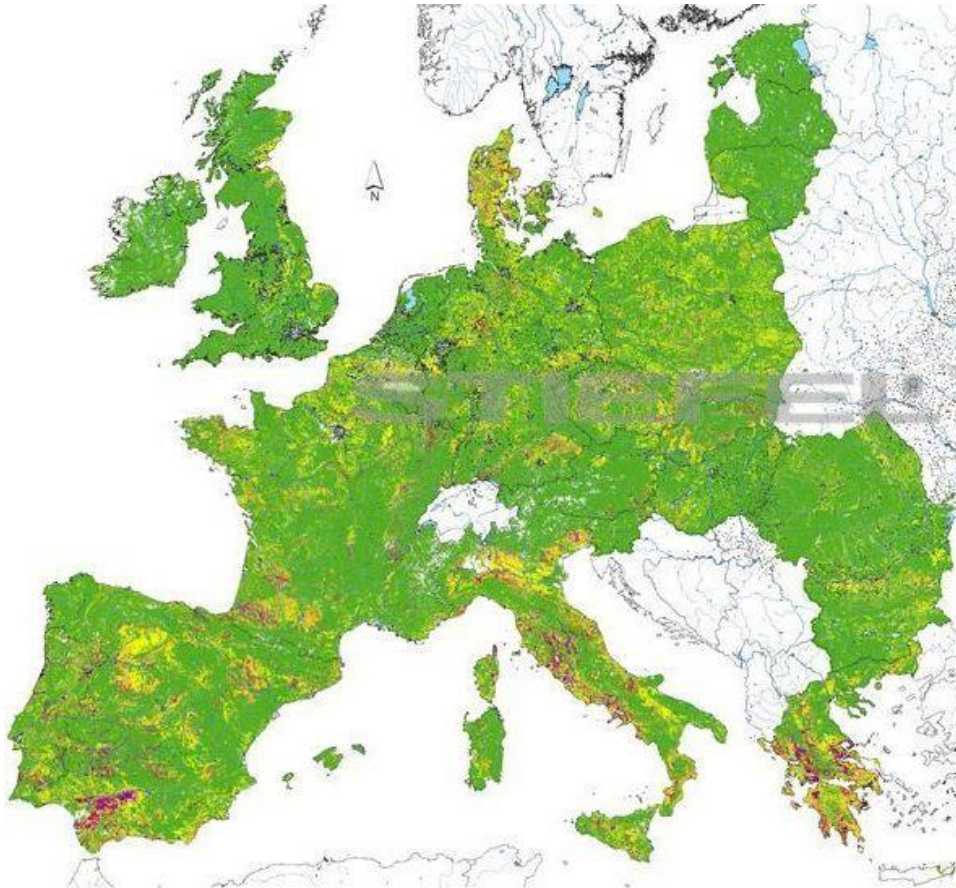
ismét a horizontproblémáról

az A galaxis anyaga által
korábban kibocsátott fény
a plazmakorszakig
semmiképpen sem
érhette el
a B galaxis anyagát

E két anyagdarab
sohasem volt oksági
kapcsolatban!

Mégis egyforma
hőmérsékletűek, mintha
termodinamikai
egyensúlyban lettek
volna.

Miért?



ezzel szemben...

Félig rossz kérdések a tágulásról

Véges vagy végtelen?

Zárt vagy nyílt?

Részletek:

dgy:

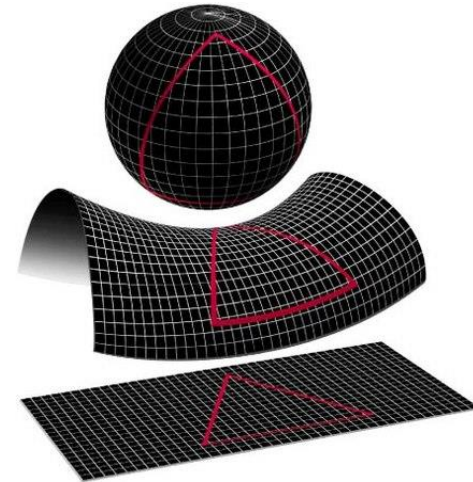
Határtalan (?) Világegyetem

Atomcsill, 2019.01.17

akármilyen,
csak véges részét láthatjuk!

Egyszerű válaszok

Háromféle lehetséges
homogén és izotróp tér van:



A döntés a mérések feladata.

Az ezredfordulón a precíziós
mérések a **sík geometria**
mellett döntöttek.

Félig rossz kérdések a tágulásról

A kezdettől végtelen világ?

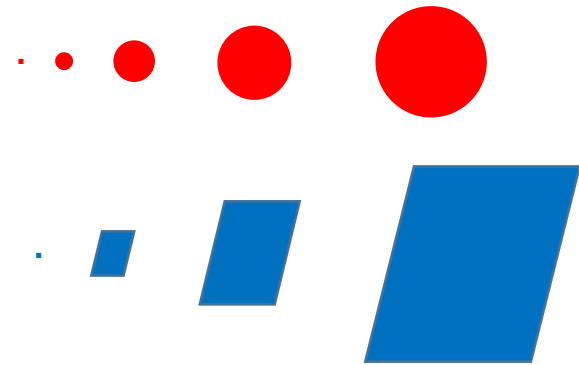
Hát ez meg hogy lehet?

Az egy pontból felfúvódó
lufit még el bírom képzelni,
de a hirtelen megjelenő
végtelen síkot már nem...

Az valami minőségi ugrást
jelentene...

De hamarosan
rájövünk, hogy a
kérdés nem is
releváns...

Egyszerű válaszok



A látszat csal!

A tetszőlegesen kicsiny
véges gömb **ugyanúgy**
végtelen sok pontból áll,
mint a végtelen sík vagy
hiperbolikus tér...

A leggyakoribb kérdés a tágulásról

Mi volt a Nagy Bumm előtt?

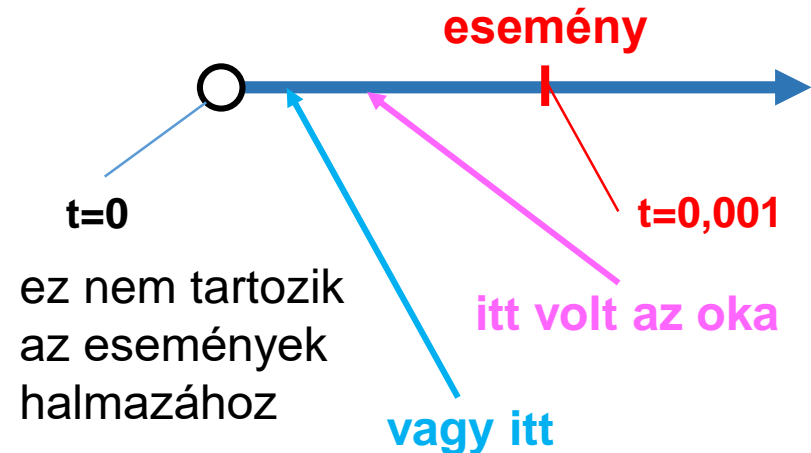
Ugyanez filozófiai
csomagolásban:

Minden fizikai eseménynek
van **oka**, ami megelőzi.

Ha a Nagy Bumm
a legelső pillanat, és nem
volt előtte semmi, akkor
**a Nagy Bummnak
nem volt oka**
– és ez nonszensz.

Egyszerű válasz (középiskolás matekkel)

Az időtengely NYÍLT félegyenes
azaz a $t > 0$ pontok halmaza.



Ez a teljesen elemi matek kihúzza a
„legkomolyabb” ellenvetés méregfogát.

A „nulla pont”, a „Nagy Bumm pillanata” nem tartozik a Világegyetem eseményei közé!

A nyílt félegyenesen **NINCS** legelső pont!

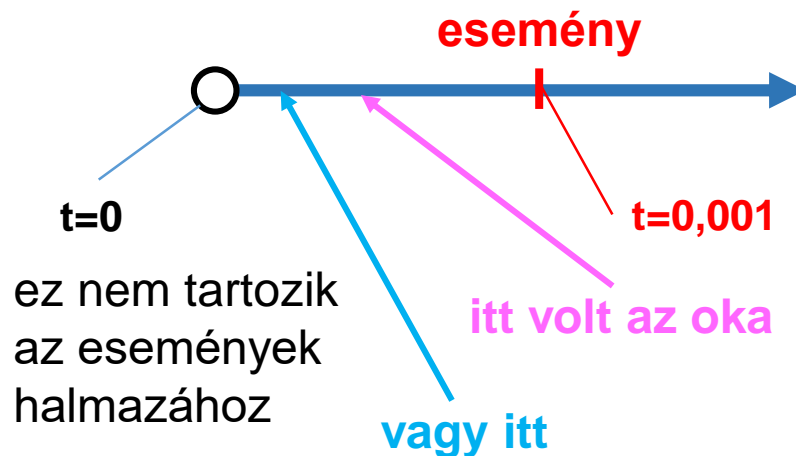
Minden eseményt **végtelen sok** korábbi esemény előzött meg.

Az „idő” nem a nulla pontban született meg – minden pillanatban létezett, és folytonosan telt.

Az Univerzum tágulása nem a nulla pillanatban kezdődött: **az Univerzum MINDIG, minden létező időpillanatban tágult.**

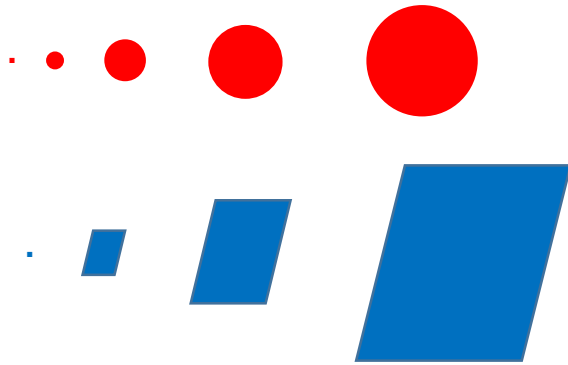
Egyszerű válasz (középiskolás matekkel)

Az időtengely NYÍLT félegyenes azaz a $t > 0$ pontok halmaza.



Ez a teljesen elemi matek kihúzza a „legkomolyabb” ellenvetés méregfogát.

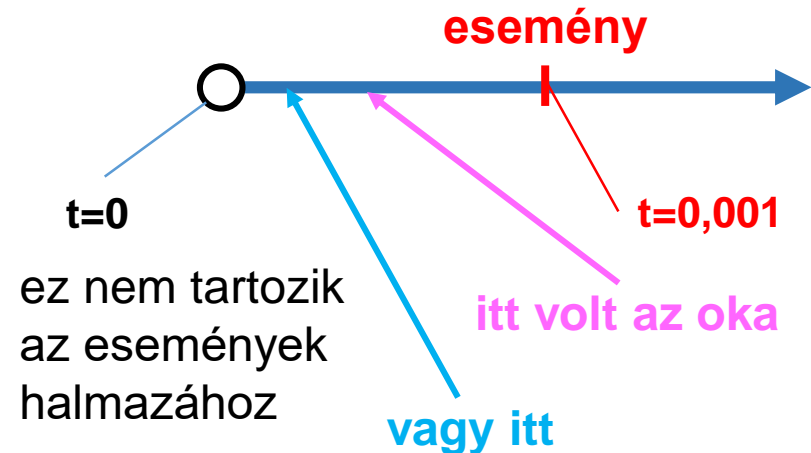




Ezzel megoldódott a „minőségi ugrás” problémája is: az Univerzum **sohasem volt egyetlen pontban**, minden létező időpillanatban végtelen sok pontból állt – akár véges, akár végtelen, akár zárt, akár nyílt.

Egyszerű válasz (középiskolás matekkel)

Az időtengely NYÍLT félegyenes azaz a $t > 0$ pontok halmaza.



Ez a teljesen elemi matek kihúzza a „legkomolyabb” ellenvetés méregfogát.

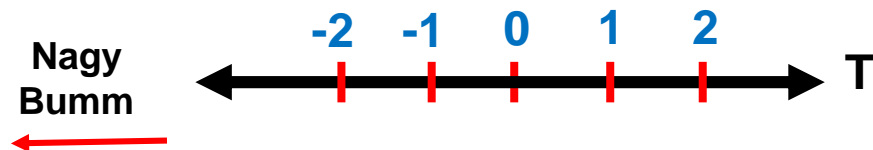
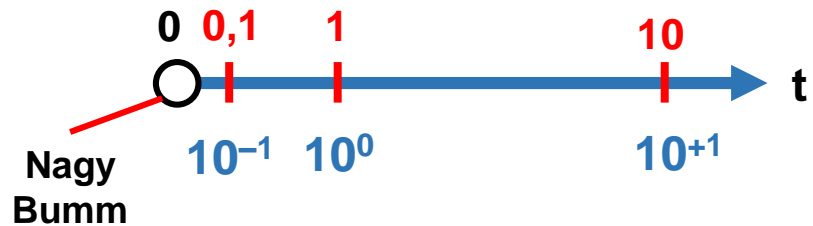
Trükkös matekosok ravasz ellenvetése

Minden eseményt **végtelen sok** korábbi esemény előzött meg.

Azt hallottam, hogy az általános relativitáselméletben tetszőlegesen választhatjuk meg a koordinátákat.

Hát akkor miért nem használjuk a t idő helyett a $T = \log t$ mennyiséget?

A logaritmus a nulla pontot kiviszi a mínusz végtelenbe, és akkor nem kell foglalkozni a Nagy Bummal...



Ezt valóban megtehetnénk, sőt olykor meg is tesszük.

De jó fizikai okunk van, hogy ragaszkodjunk a t idő fogalmához. Lásd később.

Woody Allen kérdése

Azt hallottam, hogy az
Univerzum tágul.

Ezért Brooklyn is tágul.

És én is tágulok. ☹️

(Annie Hall)



A helyi objektumok nem
tágulnak, ezeket lokális
(elektromos, kémiai,
gravitációs) erők tartják
össze.

Sem Brooklyn,
sem Woody,
sem a Naprendszer,
sem a Galaxis
nem tágul.

Az Univerzum tágulása a
galaxishalmazok skálája
fölött érvényesül.

A Világegyetem tágul.
Brooklyn tágul.
Én is tágulok.

Woody Allen: Annie Hall



A tágulás NEM a fénykép nagyítása!

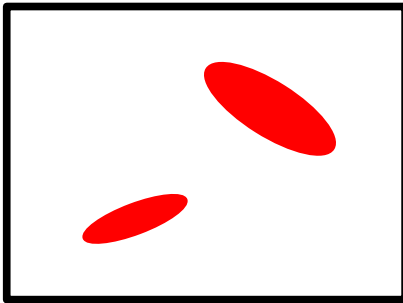
A helyi erők által összetartott helyi objektumok
NEM TÁGULNAK!

~~A Világegyetem tágul.~~

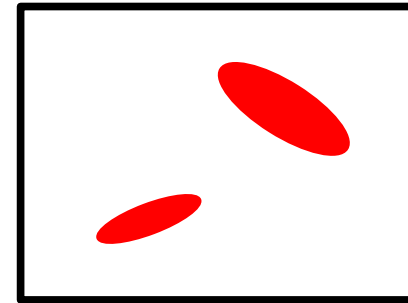
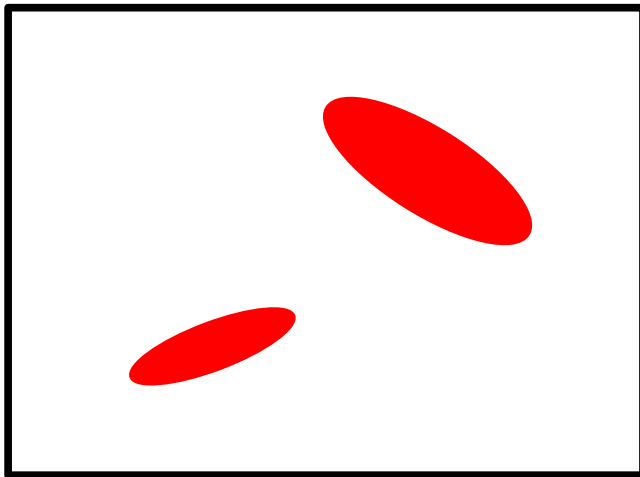
~~Brooklyn tágul.~~

~~Én is tágulok.~~

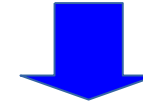
Woody Allen: Annie Hall



a fénykép
nagyítása



a tér
tágulása



A tágulás NEM a fénykép nagyítása!

Nézzünk meg erről egy demonstrációs videót:

~~A táguló Világegyetem~~

A táguló Virágegyetem

<https://9gag.com/gag/aK7Go7g>



A tágulás NEM a fénykép nagyítása!

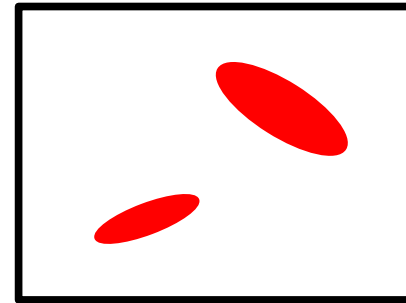
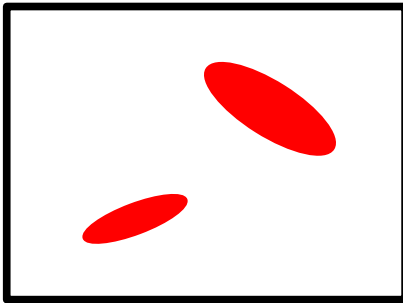
Játsszuk le a filmet VISSZAFELÉ!

~~A Világegyetem tágul.~~

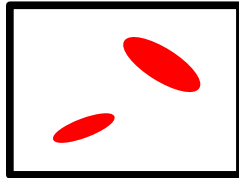
~~Brooklyn tágul.~~

~~Én is tágulok.~~

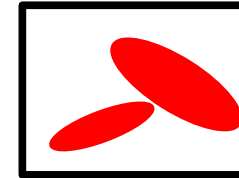
Woody Allen: Annie Hall



a fénykép
kicsinyítése



a tér
összehúzódása



a galaxisok
valamikor
összeértek!

korábban az anyag MÁS ÁLLAPOTBAN volt!

AZ UNIVERZUM ÁLLAPOTA VÁLTOZIK, TÖRTÉNETE VAN!



AZ UNIVERZUM ÁLLAPOTA VÁLTOZIK, TÖRTÉNETE VAN!

ebbe természetes módon beleillenek más tudományok **evolútív** fejezetei
csillagfizika, planetológia, biológia, történelem...

ezért az Univerzum történetének tudománya (a kozmológia) egyben

az egységes természettudományos világkép KERET-ELMÉLETE



Az Élet, a Világmindenség meg Minden

az Univerzum története
a Nagy Bummtól az
értelemig és tovább

1. Az Univerzum

2. A téridő

3. A tágulás dinamikája

4. Az anyag

5. Az Univerzum anyagának szabályos története

6. Hoppá! Egy meglepő közjáték

7. A hetedik te magad légy!



Mi határozza meg az Univerzum tágulását leíró **a(t)** függvényt?

Az **általános relativitáselmélet**, a **TÉRIDŐ** geometriai alapú elmélete

De mi az a **téridő**?

És mi az a geometria?



A geometria a fizikának az az ága, ami az objektumok konkrét anyagi összetételétől független tulajdonságaival foglalkozik (de ezt ne áruljuk el a matematikusoknak)

A különböző objektumok bizonyos behatásokra **egyformán** reagálnak.

Ezek a behatások egyes transzformációk.

Miért hasznos a geometriai szemléletmód?

A speciális relativitáselmélet születése: **Lorentz-kontrakció**

Lorentz szerint ez tényleges fizikai folyamat,
az atomszerkezet módosulása

De minden anyagnál egyformán? **Ugyan!**

Az egyik anyag vezet, a másik szigetelő, az egyik átlátszó, a másik nem – **atomszerkezeti okból.**

De mindegyik **pontosan ugyanúgy** húzódik össze?
Ez nem lehet!

Írjuk le egységesen, geometriailag – ezt tette Einstein és Minkowski.



Szimmetriák és transzformációk

K inerciarendszerről áttérünk K'-re:

transzformáció

Ha ekkor a fizikai törvények ugyanolyanok maradnak:

a K rendszerben **egyenletes mozgást** végző test ugyanezt teszi a K' rendszerben is
(csak más sebességgel, más irányba, más kezdőponttal)

szimmetria

A mechanikai szimmetriatranszformációk (IR-t IR-be visznek át):

transzformáció	szimmetriaelv	megmaradási tétel
a KR kezdőpontjának eltolása	a térnek nincs középpontja: a tér homogén	lendület
a KR tengelyeinek elforgatása	a térben nincsenek kitüntetett irányok: a tér izotróp	perdület
az időszámítás kezdőpontjának eltolása	az időnek nincs közepe: az idő homogén	energia
üljünk át egy állandó sebességgel mozgó vonatra (Galilei-transzformáció)	Galilei-féle relativitási elv	(tömegközéppont)



A különböző objektumok és jelenségek közös tulajdonságait,
minden objektum közös szimmetriáit rákentük két absztrakt „háttértényezőre”,
a térre és az időre.

Így a viselkedés absztrakt módon, az egyes objektumokra
való hivatkozás nélkül, matematikailag vizsgálható..

Nem minden magától értetődő transzformáció
tartozik bele ebbe a közös szimmetriacsoportba!

Ellenpélda:
Tükrözés-szimmetria
Paritássértés 1956

A fenti transzformációk matematikailag
pontosan kétféleképpen rakhatók össze
zárt matematikai struktúrává,
szimmetriacsoporttá (1985)

dgy: **Szimmetriák és reaktorok**
Atomcsill, 2017.11.16

dgy: **Relativisztikus paradoxonok**
Atomcsill, 2009.01.15

„klasszikus” fizika

speciális
relativitáselmélet

A SpecRel szorosan összekapcsolja a
teret és az időt: ezért beszélünk **téridőről**

Melyik helyes?
A kísérlet dönt:
másodpercenként
százmilliárdszor

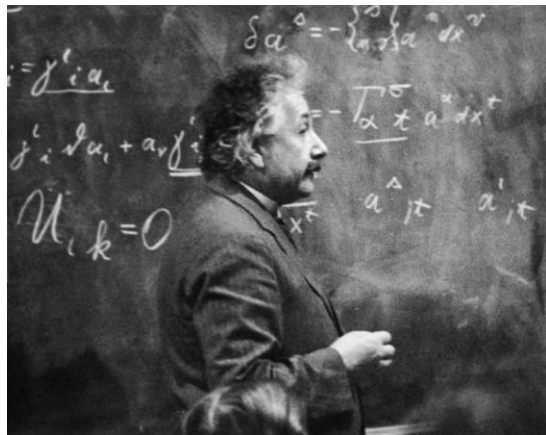


A gravitáció, az **egyetemes tömegvonzás** eltéríti a testeket az állandó sebességű mozgástól.

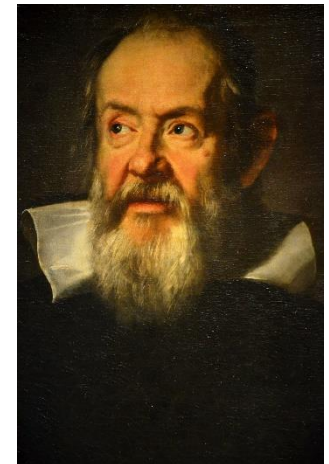
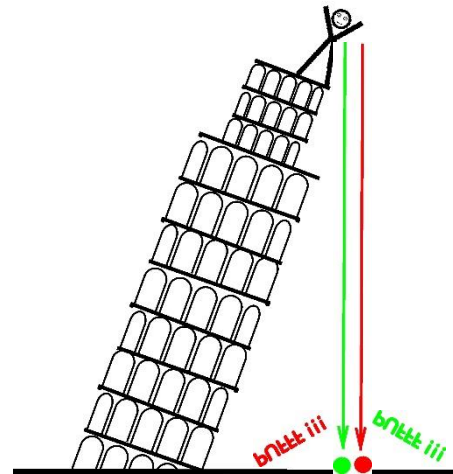
De egyformán téríti el!

Ezért geometrizálható!

Ez volt **Einstein** alapgondolata 1908-ban, ebből lett az általános relativitáselmélet (GR)



Galilei a ferde toronyban



Demonstrációs kísérlet:

Apollo 15, David Scott a Holdon

<https://www.youtube.com/watch?v=KDp1tiUsZw8>

A gravitáció univerzális voltát már **Newton** kimondta

Newton 2. törvénye:

gyorsulás

erő

gravitációs térerősség

$$m a = F = \mu g(r)$$

tehetetlen tömeg

(passzív) súlyos tömeg

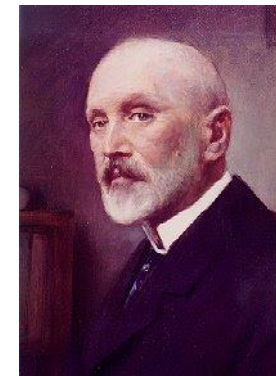
$$a = g$$

a gravitáció hatására
minden test egyformán gyorsul



Newton
Bessel

$$m = \mu$$



Eötvös Loránd 1890 körül
9 tizedes pontossággal kimérte



Eötvös méréseiről szóló előadásaink:

Cserti József:
Eötvöstől Einsteinig
Atomcsill, 2014.09.11

Skrapits Lajos:
A gravitációs kút és az inga
Atomcsill, 2010.10.14

Timár Gábor:
Eötvös Loránd és a Föld alakja
Atomcsill, 2010.03.25

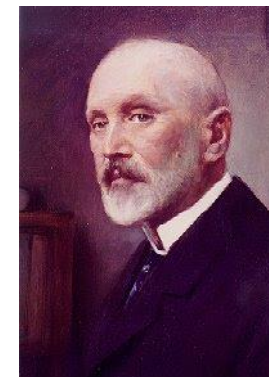
$$a = g$$

a gravitáció hatására
minden test egyformán gyorsul



Newton
Bessel

$$m = \mu$$



Eötvös Loránd 1890 körül
9 tizedes pontossággal kimérte



$$a = g$$

a gravitáció hatására
minden test egyformán gyorsul

tömegétől és
anyagi összetételétől függetlenül

**de mi az, hogy
görbült?**

a téridő a lehetséges mozgások
matematikai kerete

ezért a gravitáció is geometrizálható

ennek matematikai eszköze
a **Riemann-geometria**

köznyelven
a **görbült téridő**

a görbült téridő a gravitáció
figyelembe vételével lehetséges
mozgások matematikai kerete



Mi az, hogy görbült téridő?

dgy:
Gravitáció és geometria
Atomcsill, 2014.09.18

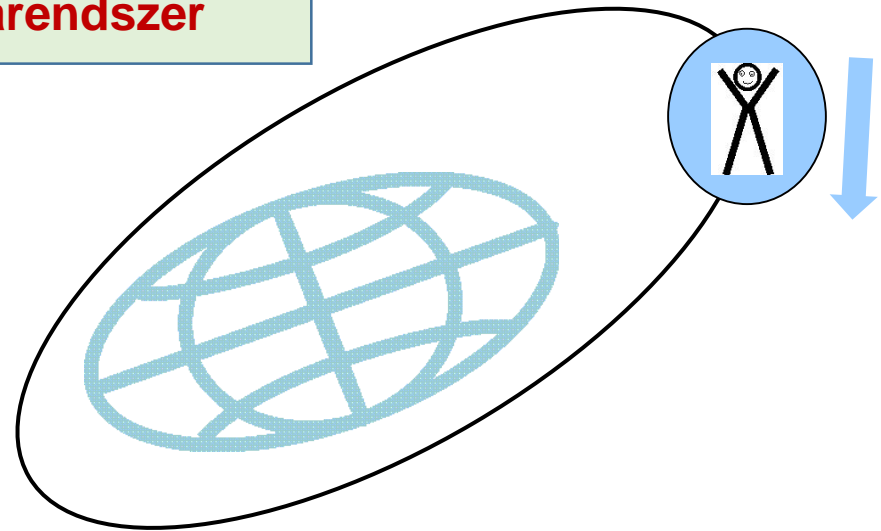
egy hasznos analógia:

görbe felületek – pl. a Föld:

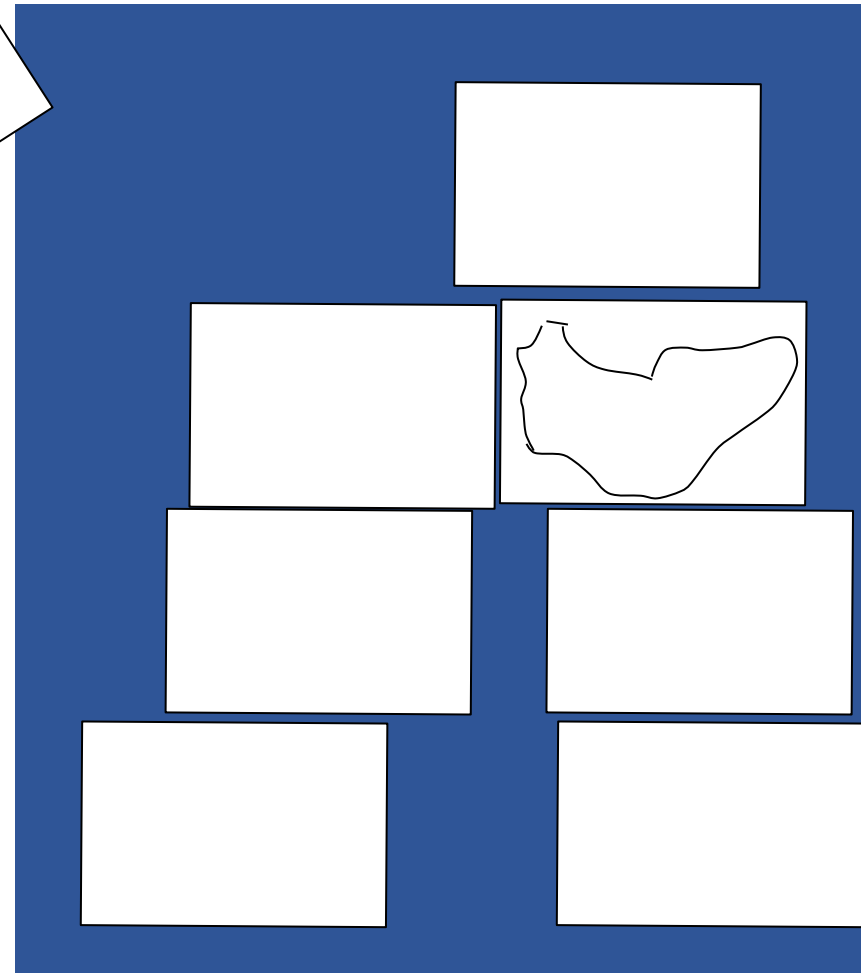
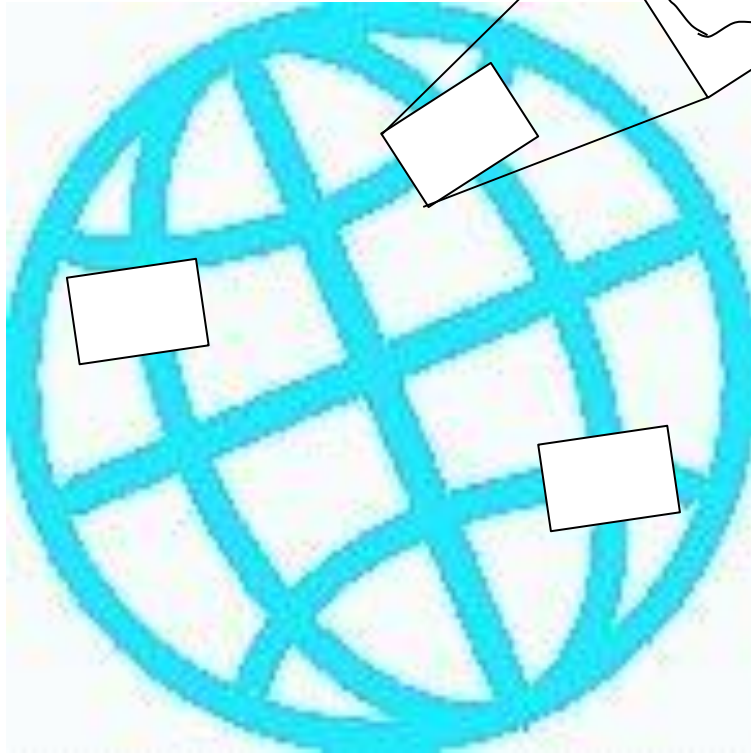
a sík, euklideszi geometria
dinamikai megfelelője
az inerciarendszer

pl egy űrlaboratórium
belseje

amelyben érvényes az
erőmentes newtoni fizika



egy hasznos analógia:

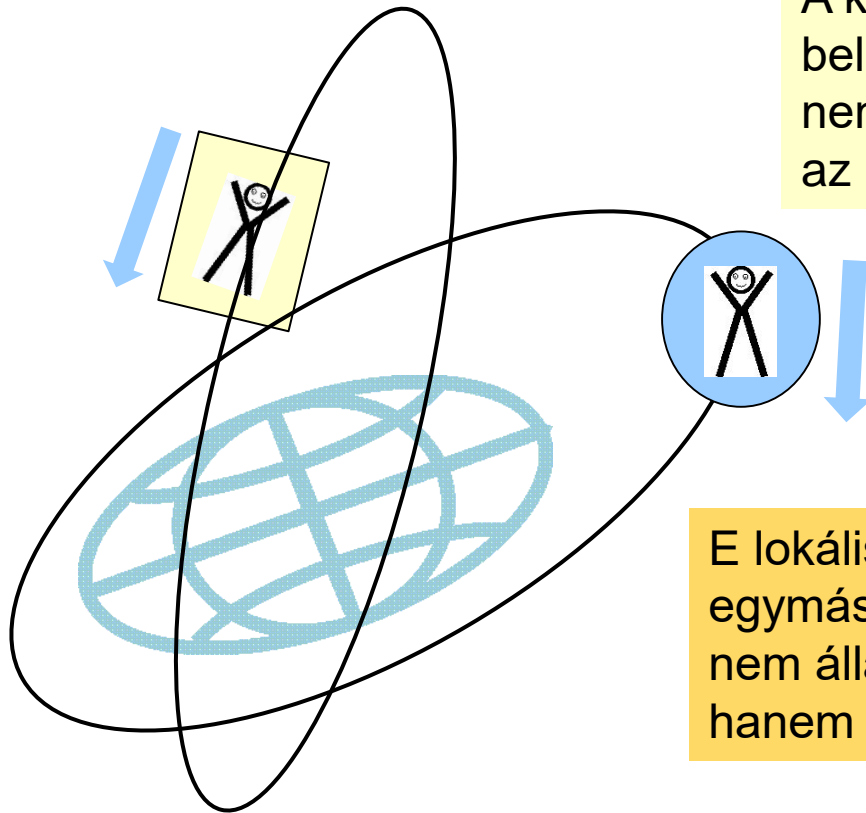


A Föld felületének bármely kis részéről lehet készíteni elegendően pontos síktérképet.

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



A görbült felület
elegendően kis részein

alkalmazható

az euklideszi geometria

A görbült (gravitáció torzította) téridő
elegendően kis részein

alkalmazható

a gravitáció nélküli fizika

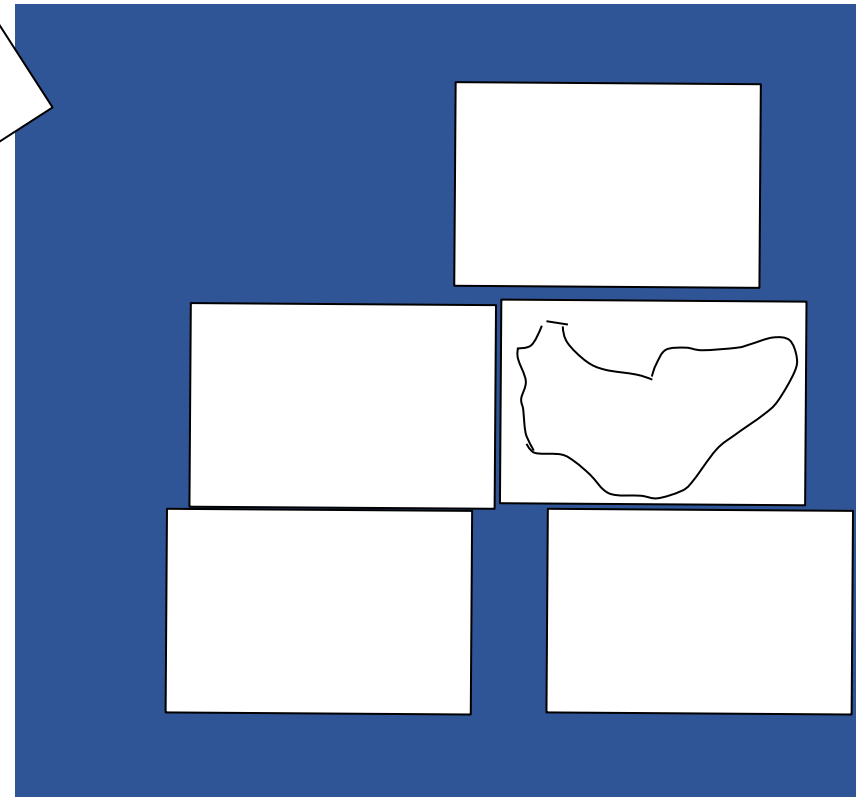
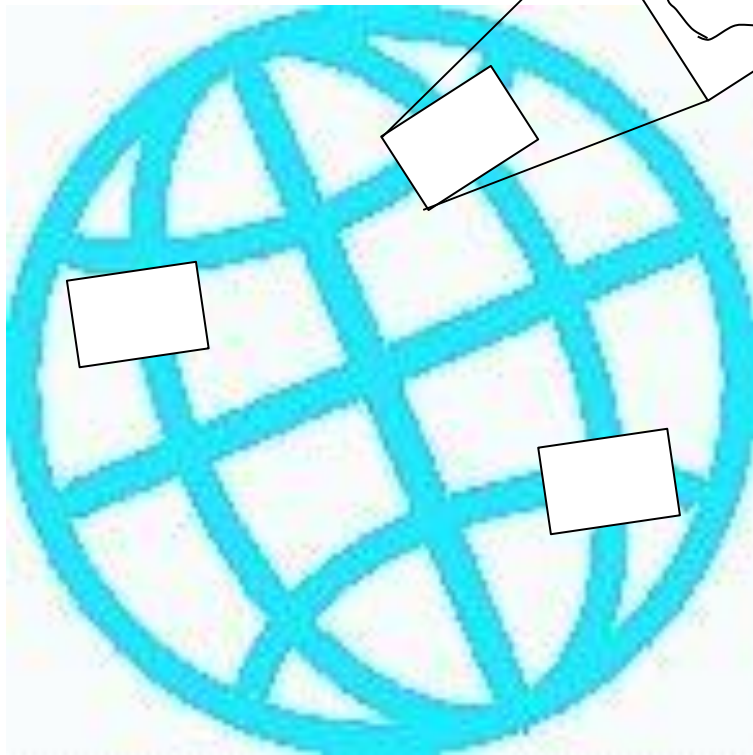
azaz a speciális relativitáselmélet

**Mit jelent az
„elegendően kis rész”?**

további közelítésként
(lassú mozgások esetén)

alkalmazható a klasszikus
newtoni fizika is

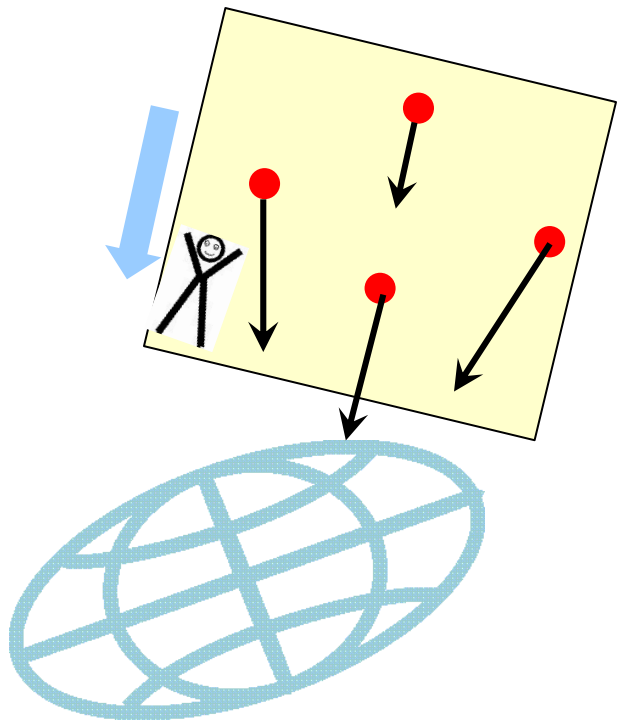




Mekkora lehet, meddig terjedhet egy lokális síktérkép?

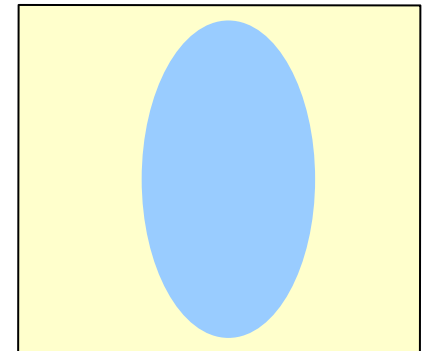
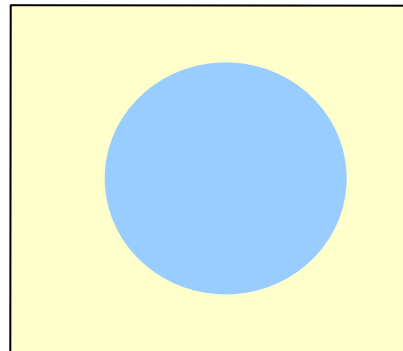
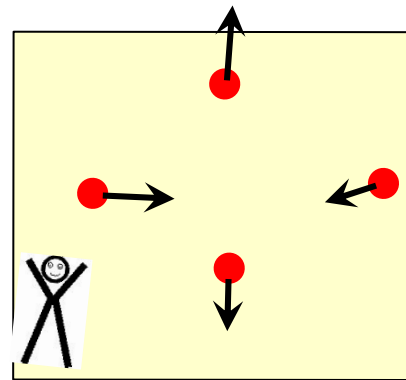
Ameddig a mérhető távolságok nem térnek el észrevehetően és zavaróan a valóságtól.

(Turistatérkép: 5 km távon már észrevehető!)



Mekkora lehet, meddig terjedhet egy lokális inerciarendszer?

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



Túl nagy űrlabor:
ez már nem tekinthető
lokális inerciarendszernek

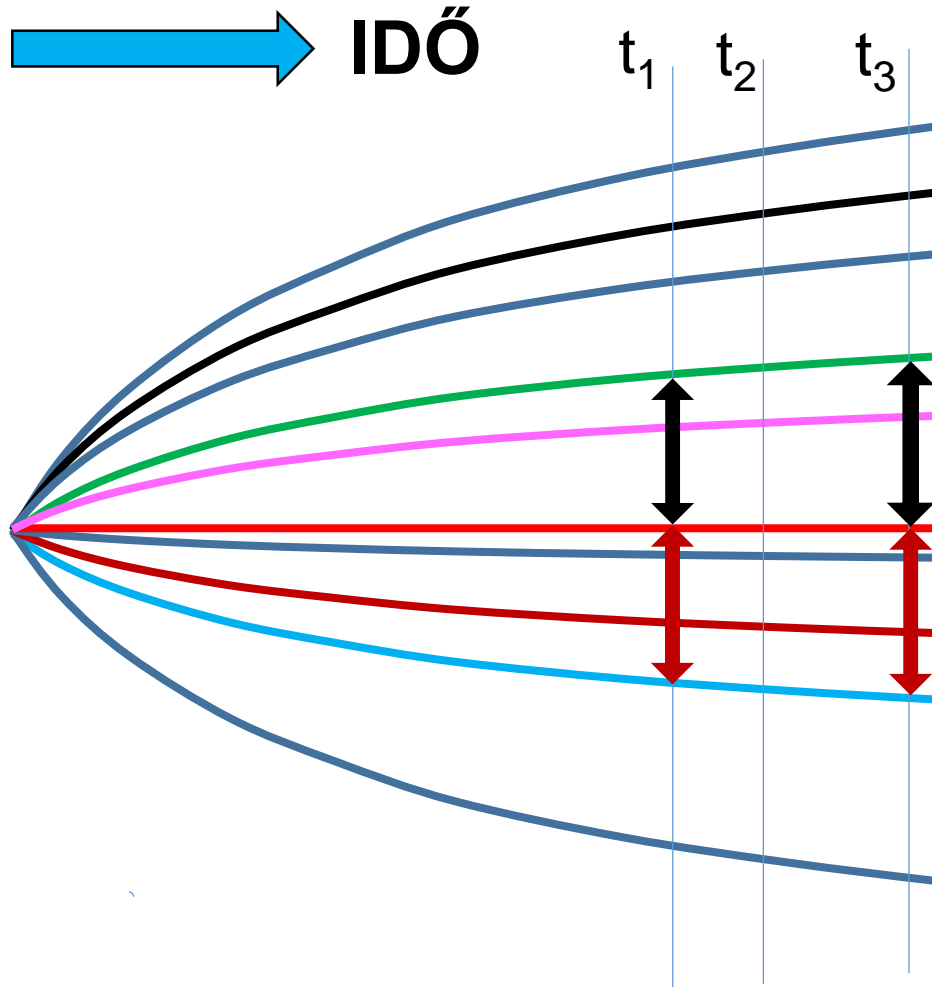
Fekete lyukban akár egy méter is sok lehet!

Nem a gravitációt érezzük,
hanem a térbeli változását!



A lokális inerciarendszerekben érvényes a speciális relativitáselmélet.

Ebben pedig van egy kitüntetett időfogalom: **az inerciaidő**



Inerciaidőben mérve a magukra hagyott testek állandó sebességgel mozognak

Célszerű a táguló homogén világ lokális inerciarendszereiben (a galaxisokban) az inerciaidőt alkalmazni.

Ezek adják meg a **világidőt**.

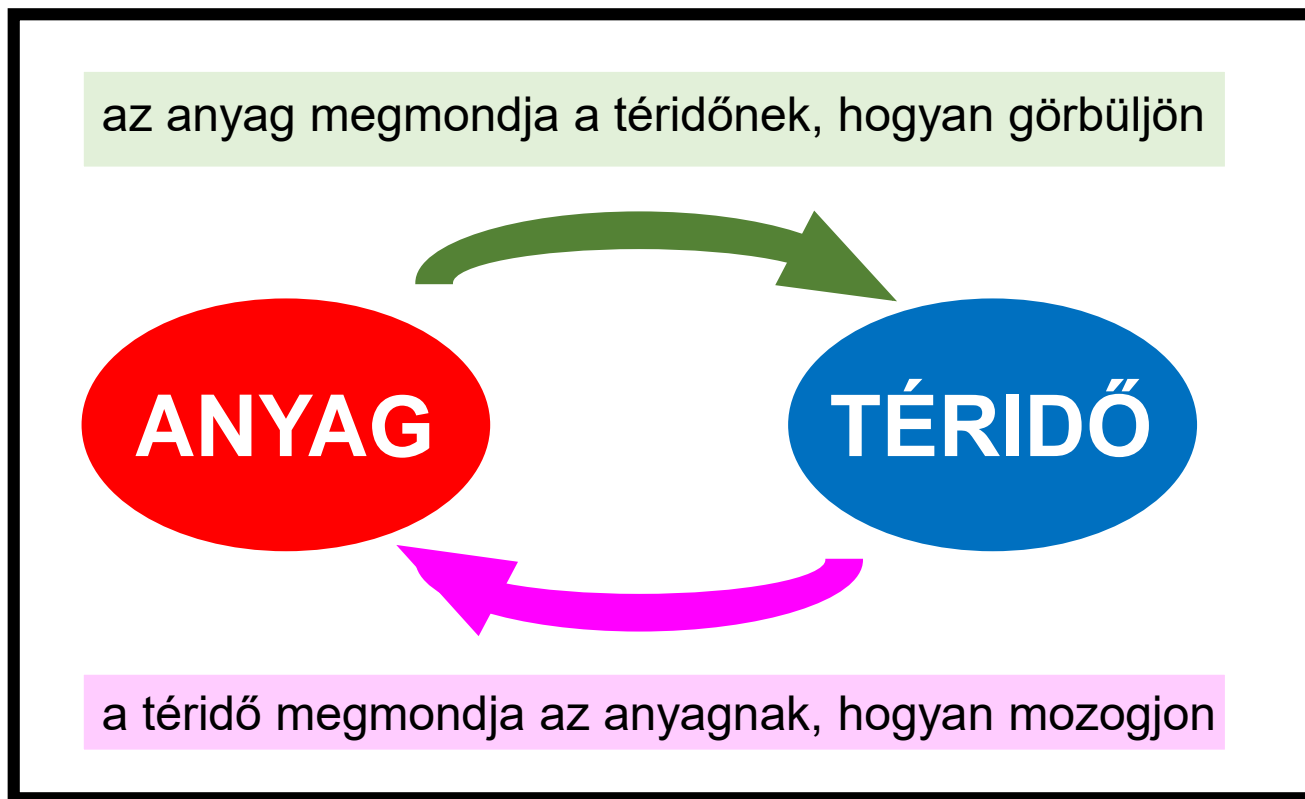
A Penrose–Hawking-tétel szerint **inerciális világidőben mérve a Nagy Bumm véges idővel ezelőtt volt..**

Ezért nem érdemes logaritmussal a mínusz végtelenbe tolni...

Mi határozza meg a téridő görbületét?

azaz
a gravitációs hatásokat?

AZ ANYAG pontosabban az anyag bizonyos fizikai jellemzői



Ezt a kölcsönös kapcsolatot írják le az általános relativitáselmélet egyenletei.

Mi határozza meg a téridő görbületét?

Az anyag és a téridő kölcsönös kapcsolatát írják le a GR egyenletei.

Megjegyzések:

- A téridő ott is görbül, ahol éppen nincs anyag. Épp ez teszi lehetővé a távoli testek közti „gravitációs kölcsönhatást!”
- Sőt a téridő görbületének „fodrozódása” hullámszerűen tovaterjedhet messze túl az őt keltő anyagon túl. Ezek a **gravitációs hullámok**. (Einstein 1916, felfedezés 2015, Nobel-díj 2017)

Raffai Péter: **Csillagászat gravitációs hullámokkal**
Atomcsill, 2017.04.06

- A gravitációs hullámok sebessége **univerzális állandó (c)**, ennél gyorsabban semmi sem mozoghat egy lokális inerciarendszerben. Ezt a sebességet tévedésből és hagyományból **fénysebességnek** nevezik. (A továbbiakban $c=1$ lesz.)



Mi határozza meg a téridő görbületét?

Az anyag és a téridő kölcsönös kapcsolatát írják le a GR egyenletei.

Egy kis spekuláció:

- **Vajon két különálló létező-e az anyag és a téridő?**

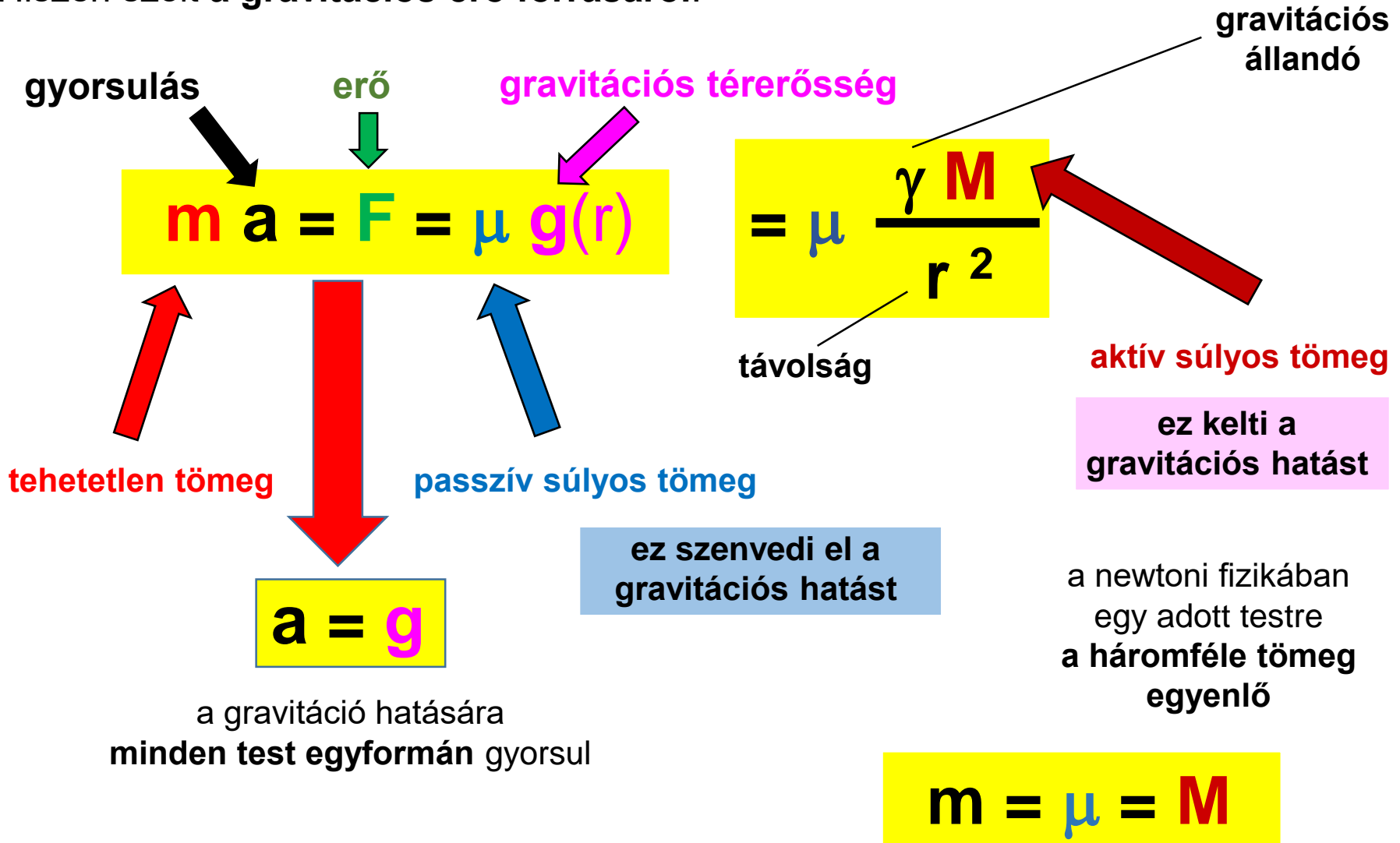
Lesz-e egységes elméletük?

Talán a **kvantumgravitáció (QG)**: első Nobel-díj 2052



No de hát az anyag és a gravitáció kölcsönös kapcsolatáról már Newton is tudott!

Hiszen szólt a gravitációs erő forrásáról:



a newtoni fizikában egy adott testre
a háromféle tömeg egyenlő

$$m = \mu = M$$

tehetetlen tömeg = passzív gravitációs tömeg = aktív gravitációs tömeg

de az einsteini általános relativitáselméletben **ez már nem igaz!**

ez az egyik **alapvető** (és nem eléggé köztudott)
különbség a régi és az új gravitációelmélet között

a tehetetlen tömeg továbbra is egyenlő
a passzív gravitációs tömeggel

ezt mérte ki Eötvös,
ebből indult ki Einstein,
és ez teszi lehetővé
a geometriai tárgyalásmódot

de az **aktív gravitációs tömeg**
fogalma megszűnik,
és a helyére
10 független fizikai mennyiség
együttese lép

(az „energiaimpulzus-tenzor”
10 komponense)



Az általános relativitáselméletben az aktív gravitációs tömeg fogalma megszűnik, és a helyére **10 független fizikai mennyiség** együttese lép

a GR-ben a gravitációt nem csak a tömeg (**energiasűrűség**) kelti, hanem az **energiaáramlás**, a **nyomás** és a **nyírófeszültségek** is

Egy forgó vagy egy összenyomott test másképp görbíti a téridőt, mint egy nem forgó vagy egy deformálatlan

Miért nem vette ezt észre Newton?

Mert a köznapi életben ezek a hatások mérhetetlenül kicsinyek!

Hol lesznek jelentősek a különbségek?

a kozmológiában!



A táguló homogén Világegyetemben az anyag gravitációt keltő 10 adatából kettő marad (a többi nulla):

Ezekhez járul a tágulást leíró $a(t)$ skálafüggvény

$\varepsilon(t)$

energiasűrűség

$p(t)$

nyomás

$a(t)$

skálafüggvény

E három függvény egyértelműen leírja a homogén Univerzum tulajdonságait és történetét.

Kapcsolatukat a GR Einstein–Fridman-egyenletei adják meg

Csak hogy egy-egy anyagfajtára fennáll egy speciális kapcsolat a nyomás és az energiasűrűség között:
az állapotegyenlet

$$p = f(\varepsilon)$$

Az állapotegyenlet anyagfajtánként különbözik

az aktív gravitációs hatás anyagfüggése miatt
az Univerzum története változatos lesz!



Az állapotegyenlet anyagfajtánként különbözik

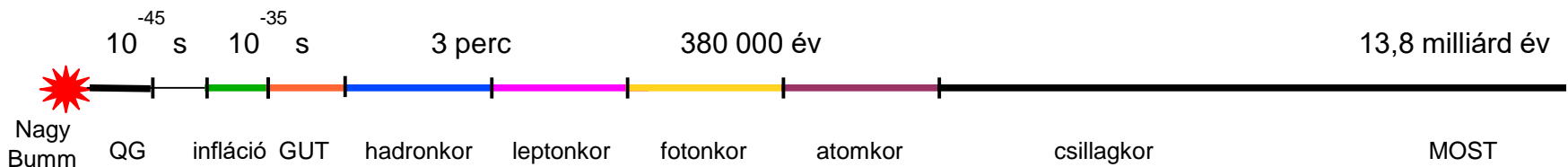
Az Univerzum történetének rekonstrukciójához tehát hozzátartozik az aktuális anyagfajta és a megfelelő állapotegyenlet meghatározása

Tapasztalat: az Univerzum története olyan, mint a magyar történelem: hosszú korszakokból áll, amikor egy-egy anyagfajta dominál.

ezért a más-más anyaggal töltött Univerzum más ütemben tágul

majd az egyenletek megoldásával az abban a szakaszban érvényes a(t) függvény kiszámítása, végül e függvények összeillesztése

Ezeket rövid és viharos forradalmi korszakok, „rendszerváltások” választják el – ekkor keletkezik az entrópia.



„kozmosz érák”

dgy: **A következő 137 kvintillió év**
Atomcsill, 2021.09.09



Az Élet, a Világmindenség meg Minden

az Univerzum története
a Nagy Bummtól az
értelemig és tovább

1. Az Univerzum

2. A téridő

3. A tágulás dinamikája

4. Az anyag

5. Az Univerzum anyagának szabályos története

6. Hoppá! Egy meglepő közjáték

7. A hetedik te magad légy!



Az Univerzum tágulásának dinamikája

Oldjuk meg az **Einstein–Fridman-egyenleteket** az Univerzum történetének **jelenlegi korszakára!**

Mi a **domináns anyagfajta**? Mi az **állapotegyenlet**?

„**Galaxispor**” – nagyon ritka ütközések, a nyomás nulla.

$$p = 0$$

Azonnali ellenvetések: és a nevezetes **sötét anyag**?
Meg a „**sötét energia**”? Ezeket miért hagyjuk ki?

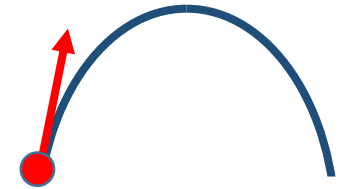
Válasz: a sötét anyag **benne van a számolásban**. Ennek is nulla a nyomása.

A „sötét energia” (szörnyen félrevezető, borzasztóságos elnevezés) nevű anyagfajta a jelen korszakban a „**kozmológiai állandó**” képviseli, ez szerepel a számolásban.



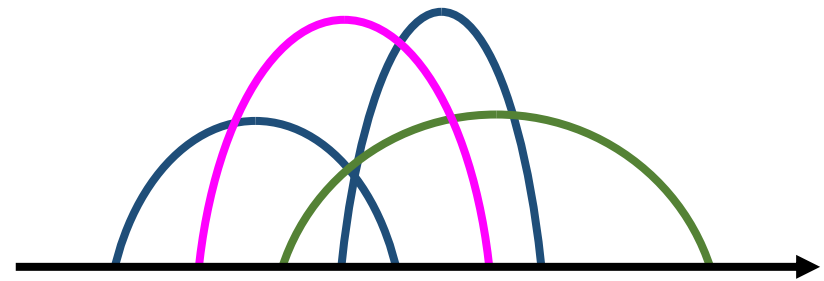
Mi kell még az egyenletek megoldásához?

Kezdeti feltételek: kezdőhelyzet és kezdősebesség



No de láttuk, hogy a $t=0$ pillanat **nem része az Univerzum történetének**. Akkor hogyan adjuk meg a kezdeti adatokat?

tűzijáték a hegy mögött:



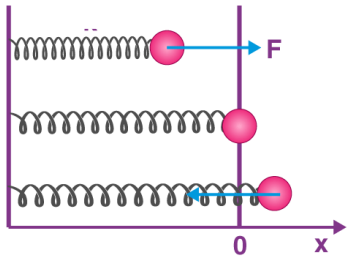
Nem kellene a kezdeti adatok, a pálya meghatározásához **elég bármilyen későbbi adat is!**

És ha ezeket nem tudom megmérni?

Indítsuk el a számolást **minden lehetséges kezdőhelyzetből** – aztán majd kirajzolódnak a lehetséges pályák



Példa: a harmonikus oszcillátor



$$m a = F = - D x$$
$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

*Ismeritek-é a legegyszerűbb fizikai rendszereket?
Harmonikus oszcillátor, hidrogénatom...
(részlet a Fizikus nótából)*

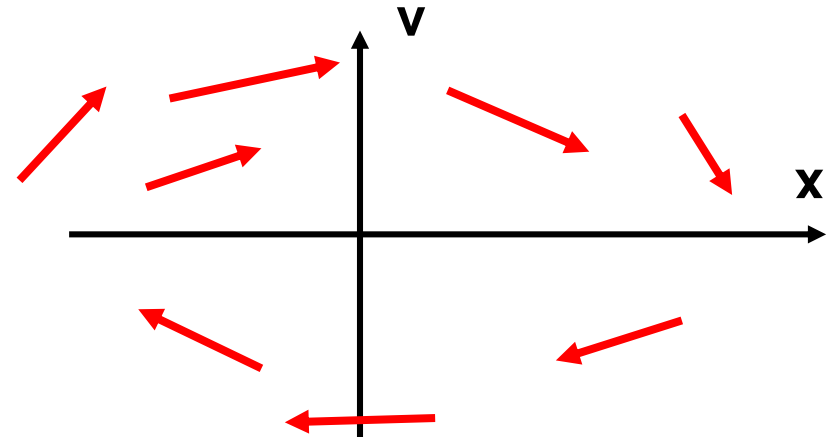
Trükk: keressünk egyszerre két függvényt: $x(t)$ és $v(t)$

Adott kezdőpontból indítva a változások:

$$\Delta x = v(t) \Delta t$$

$$\Delta v = a(t) \Delta t = -(D/m) x(t) \Delta t$$

Rajzoljuk be minden pontba az elmozdulásvektorokat!



Ez az egyenlethez tartozó iránymező, összekötve: fázisáramlás

Differenciálegyenlet-megoldó automata a neten:

<https://anvaka.github.io/fieldplay/>

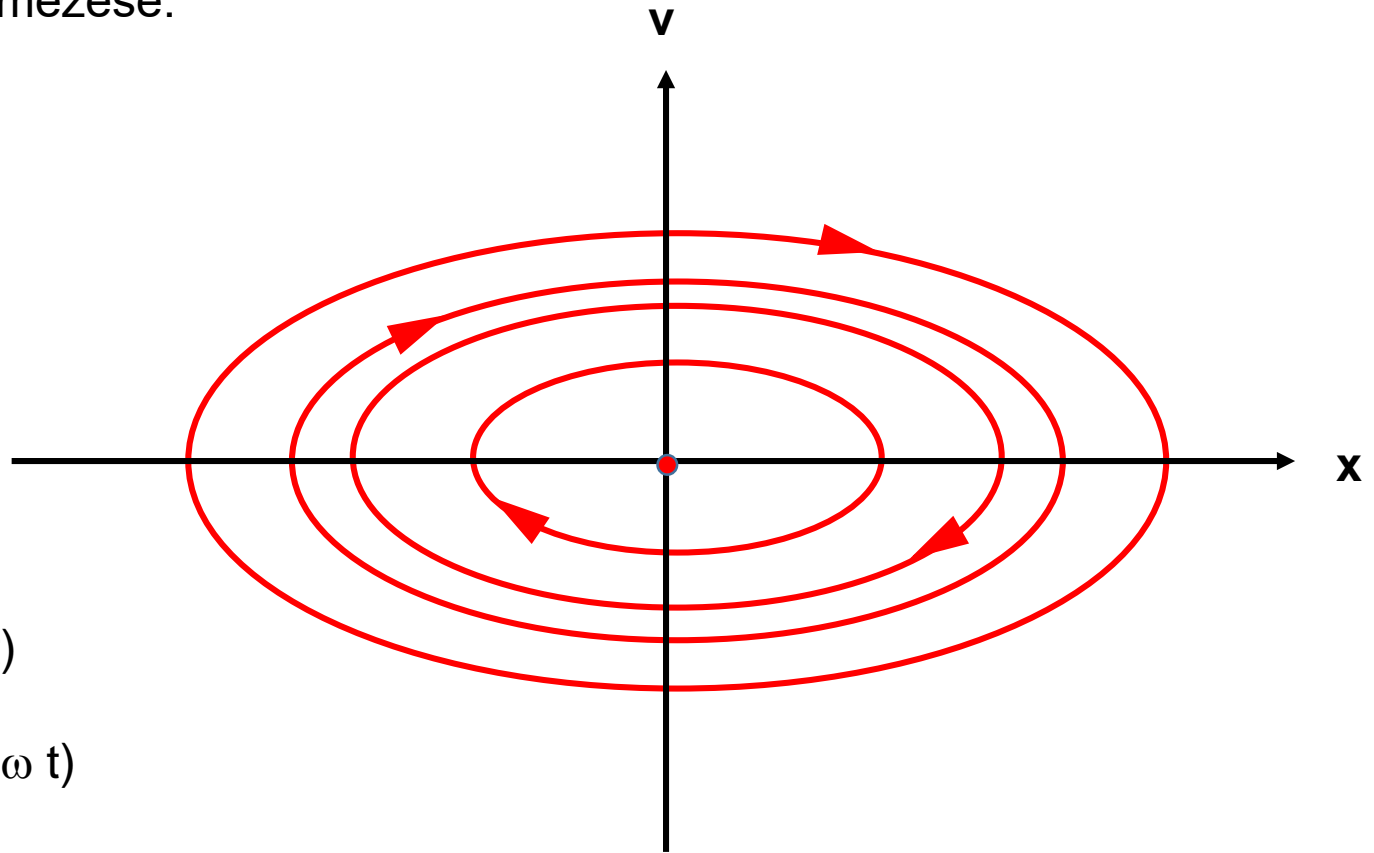
harmonikus oszcillátor

```
https://anvaka.github.io/fieldplay/?cx=-
1.5126499999999998&cy=0.34040000000000004&w=10.7927&h=10.7927&dt=0.01&fo=0.999&dp=0.01&c
m=1&vf=%2F%2F%20p.x%20and%20p.y%20are%20current%20coordinates%0A%2F%2F%20v.x%20and
%20v.y%20is%20a%20velocity%20at%20point%20p%0Avec2%20get_velocity%28vec2%20p%29%20%7
B%0A%20%20vec2%20v%20%3D%20vec2%280.%2C%200.%29%3B%0A%0A%20%20%2F%2F%20cha
nge%20this%20to%20get%20a%20new%20vector%20field%0A%20%20v.x%20%3D%20p.y%3B%0A%20
%20v.y%20%3D%20-
0.5*p.x%3B%0A%0A%20%20return%20v%3B%0A%7D&code=%2F%2F%20p.x%20and%20p.y%20are%
20current%20coordinates%0A%2F%2F%20v.x%20and%20v.y%20is%20a%20velocity%20at%20point%20
p%0Avec2%20get_velocity%28vec2%20p%29%20%7B%0A%20%20vec2%20v%20%3D%20vec2%280.%
2C%200.%29%3B%0A%0A%20%20%2F%2F%20change%20this%20to%20get%20a%20new%20vector
%20field%0A%20%20v.x%20%3D%202.*p.y%3B%0A%20%20v.y%20%3D%20-
0.5*p.x%3B%0A%0A%20%20return%20v%3B%0A%7D
```



a megoldás értelmezése:

fixpont:
 $x=0, v=0$
nyugalom



$$x(t) = A \sin(\omega t)$$

$$v(t) = A \omega \cos(\omega t)$$

Hát akkor most vegyük elő az Einstein–Fridman-egyenleteket (felírásuktól eltekintek)

Válasszunk két ügyes változót, legyen a nevük x és y (ezek a tágulás jellemző $a(t)$ és $\varepsilon(t)$ változóiból vannak kombinálva)

Programozzuk be az egyenleteket a netes robotba:

```
https://anvaka.github.io/fieldplay/?cx=-
0.49519999999999986&cy=0.8817999999999999&w=8&h=8&dt=0.01&fo=0.999&dp=0.01&cm=2&vf=%2F%2F%2
0p.x%20and%20p.y%20are%20current%20coordinates%0A%2F%2F%20v.x%20and%20v.y%20is%20a%20velocit
y%20at%20point%20p%0Avec%20get_velocity%28vec%20p%29%20%7B%0A%20%20vec%20v%20%3D%20
vec%20%280.%2C%200.%29%3B%0A%0A%20%20%2F%2F%20change%20this%20to%20get%20a%20new%20ve
ctor%20field%0A%20%20v.x%20%3D%20-
1.%2Bp.y%2Bp.x*p.x%3B%0A%20%20v.y%20%3D%206.*p.x*p.y%3B%0A%0A%20%20return%20v%3B%0A%7D
&code=%2F%2F%20p.x%20and%20p.y%20are%20current%20coordinates%0A%2F%2F%20v.x%20and%20v.y%2
0is%20a%20velocity%20at%20point%20p%0Avec%20get_velocity%28vec%20p%29%20%7B%0A%20%20vec%
%20v%20%3D%20vec%20%280.%2C%200.%29%3B%0A%0A%20%20%2F%2F%20change%20this%20to%20get%
20a%20new%20vector%20field%0A%20%20v.x%20%3D%20-
1.%2Bp.y%2Bp.x*p.x%3B%0A%20%20v.y%20%3D%206.*p.x*p.y%3B%0A%0A%20%20return%20v%3B%0A%7D
```

és nézzük az eredményt:



Az ábrán kirajzolódnak a fázisáramlás **trajektóriái**:

az egymást követő pontok **ugyanazokon a pályákon** mennek végig

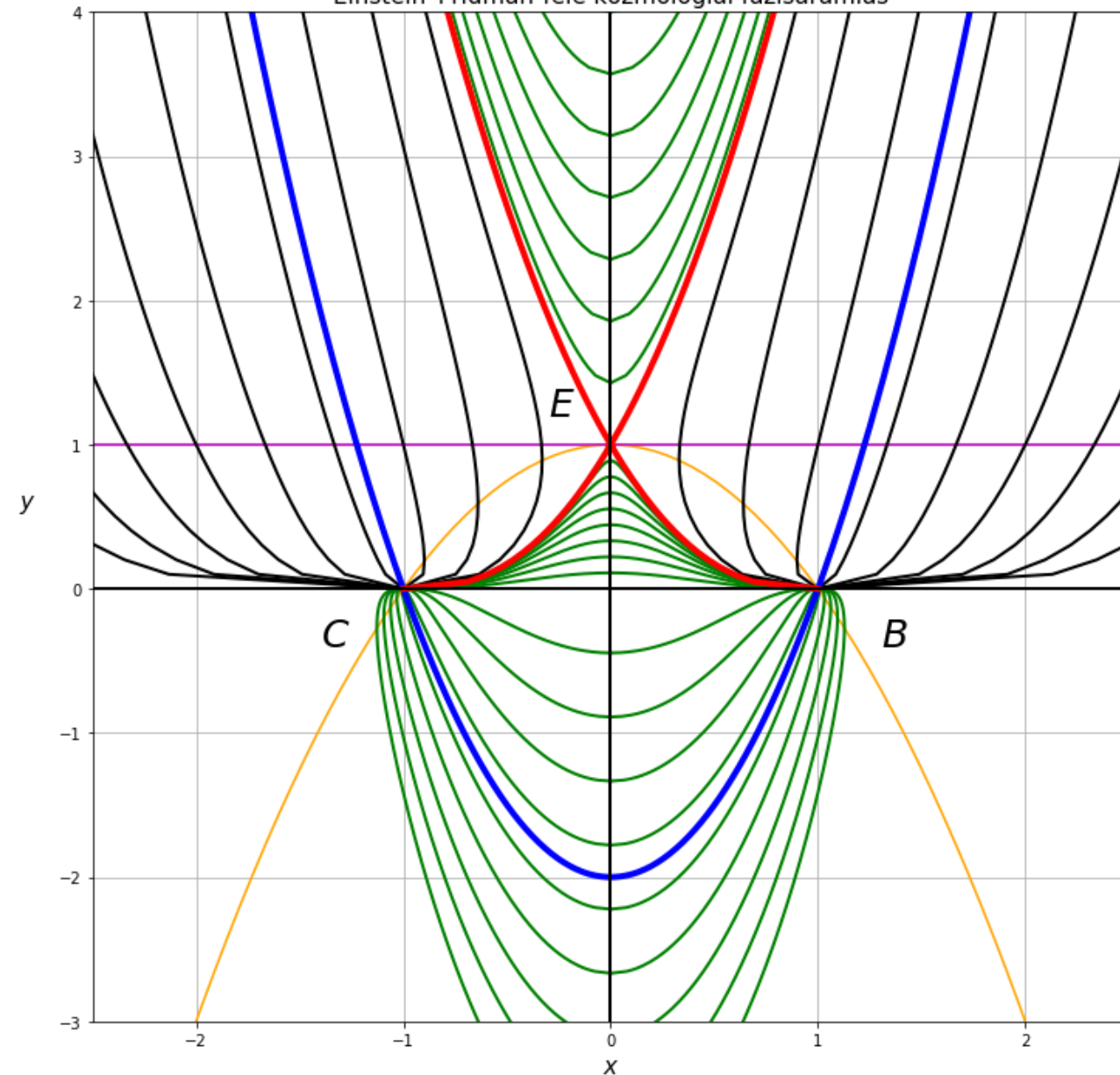
megjelennek a taszító (B) és vonzó (R) **fixpontok**
és egy instabil (hiperbolikus) fixpont (E)

léteznek a különböző jellegű mozgásokat elválasztó vonalak
(**szeparátrixok**), ezek között vannak vonzók és taszítók

ezek a pontok és görbék az egyenletek alapján
ki is számolhatók és ábrázolhatók



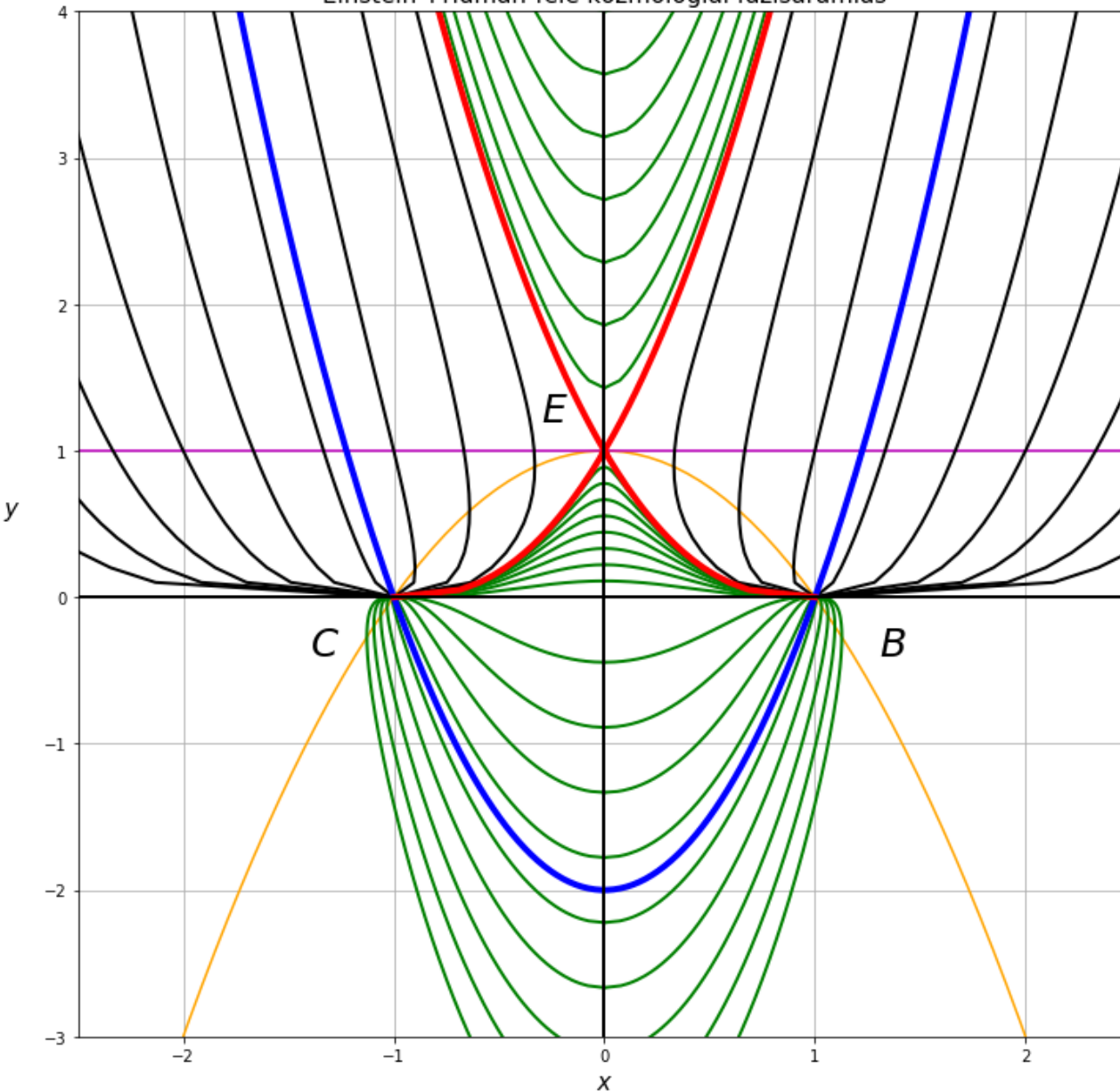
Einstein-Fridman-féle kozmológiai fázisáramlás



az ábra
kirajzoltatásáért
köszönet
Cserti Józsefnek



Einstein-Fridman-féle kozmológiai fázisáramlás



kék és piros görbék:
szeparátrixok

zöld és fekete görbék:
további lehetséges
Univerzum-trajektóriák

jobboldali félsík:
táguló világ

baloldali félsík:
összeomló világ

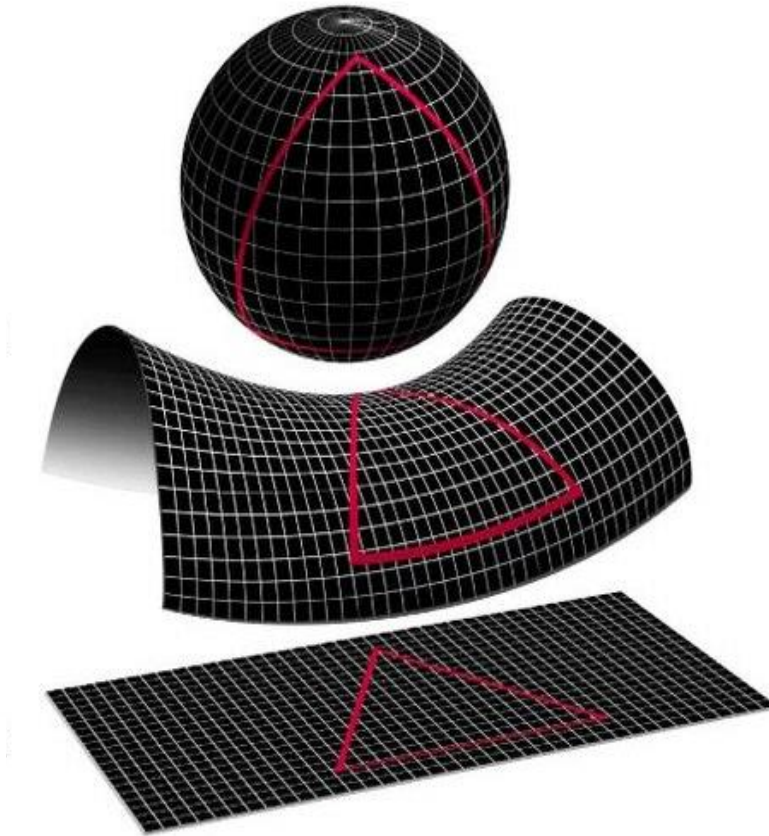
**B: Big Bang,
a Nagy Bumm,
taszító pont**

**C: Big Crunch,
a Nagy Reccs,
vonzó pont**

**E: az Einstein-féle
sztatikus világ,
instabil fixpont**



az Univerzum geometriája:

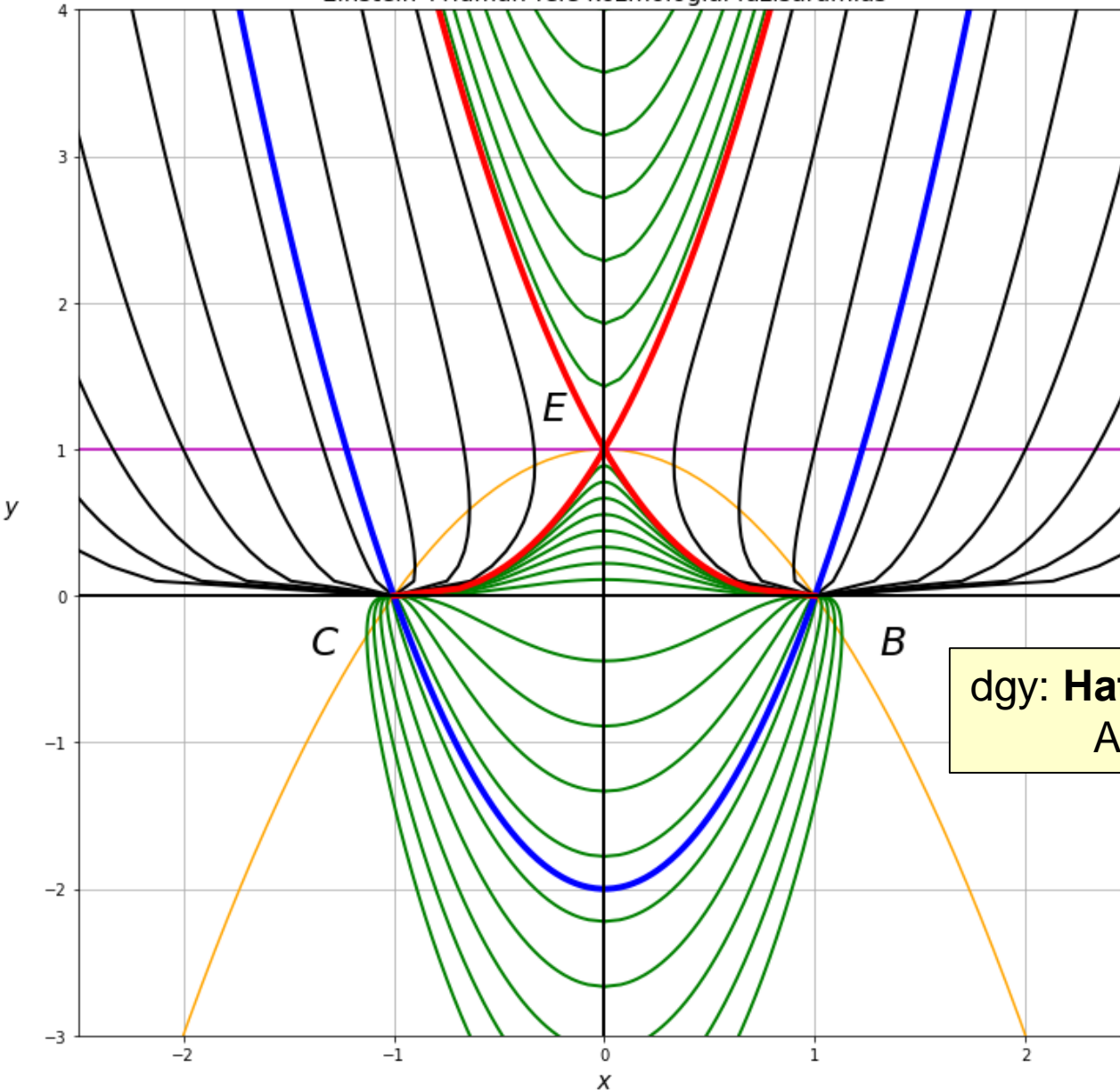


a kék görbe fölött
zárt, véges, szférikus

a kék görbe alatt
nyílt, végtelen, hiperbolikus

a kék görbén
nyílt, végtelen, sík

Einstein-Fridman-féle kozmológiai fázisáramlás



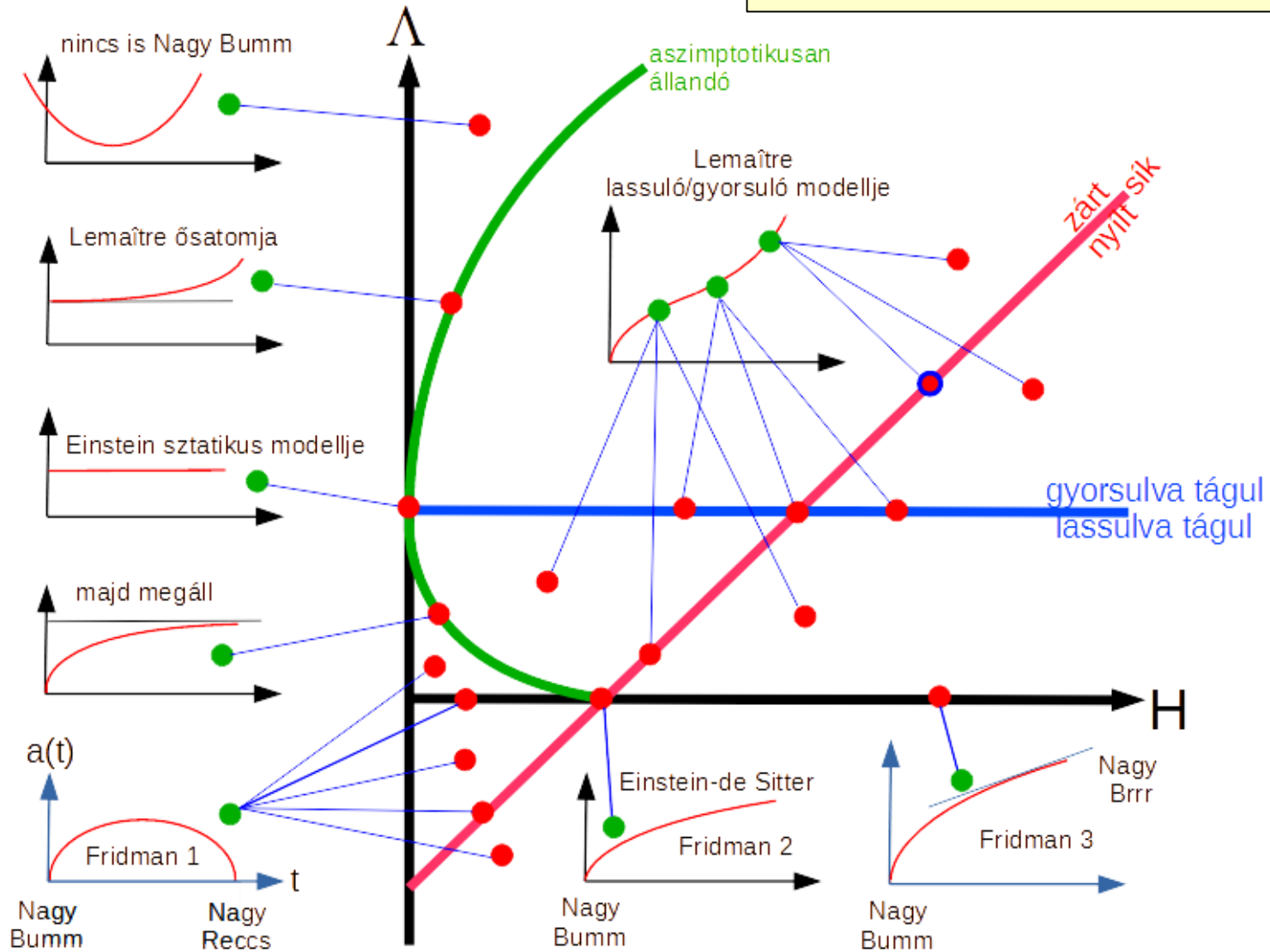
Minden görbe az Univerzum egy lehetséges történetét képviseli.

Minden görbéhez tartozik egy $a(t)$ skálafüggvény.

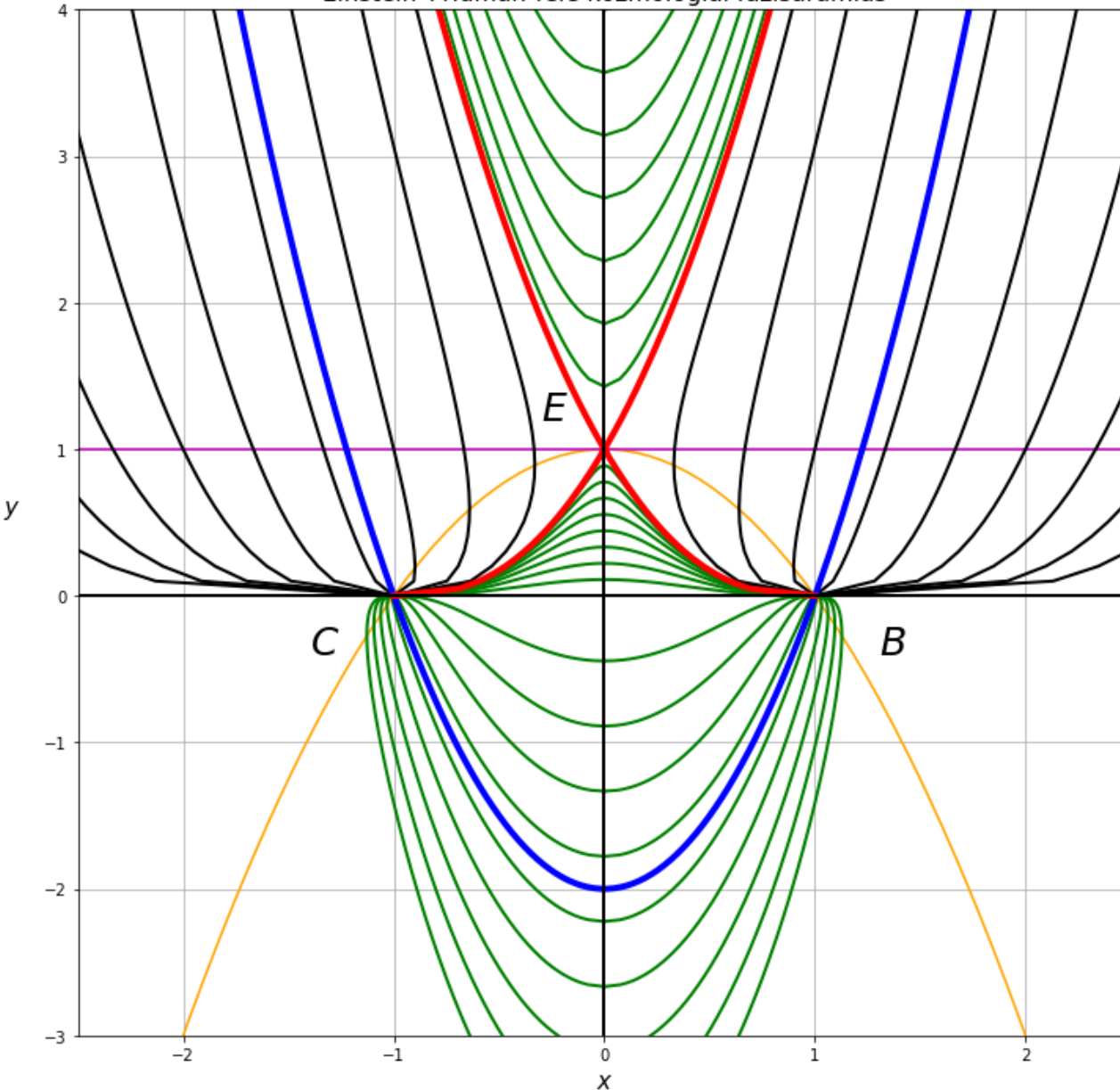
dgy: **Határtalan (?) Világegyetem**
Atomcsill, 2019.01.17



Einstein – Fridman – Lemaître – de Sitter – Robertson – Walker
kozmológiai modellcsalád



Einstein-Fridman-féle kozmológiai fázisáramlás



Minden görbe az Univerzum egy lehetséges történetét képviseli.

Minden ponton átmegy egy görbe

Mérjük meg a mai állapotot (egy pontot), és megtudjuk az egész sztorit!



Precíziós kozmológia (1990–2010)

Három független mérés alapján egy százalék pontossággal meghatározták a mai Univerzum paramétereit.

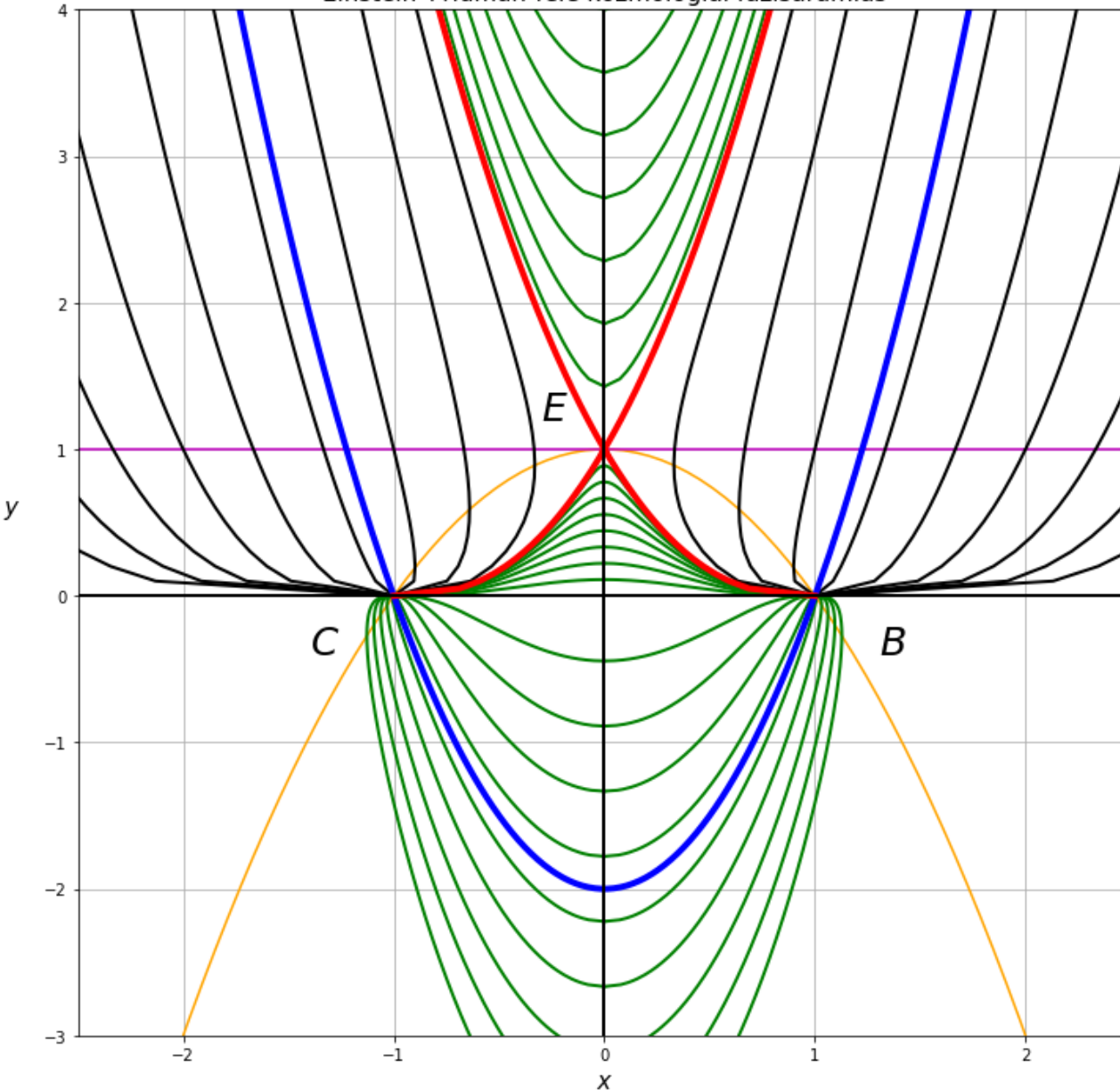
dgy: **Határtalan (?) Világegyetem**
Atomcsill, 2019.01.17

**eredmény:
rajta vagyunk a
kék görbén**

**azaz a tér
geometriája sík,
a világ végtelen**



Einstein-Fridman-féle kozmológiai fázisáramlás



kék és piros görbék:
szeparátrixok

zöld és fekete görbék:
további lehetséges
Univerzum-trajektóriák

jobboldali félsík:
táguló világ

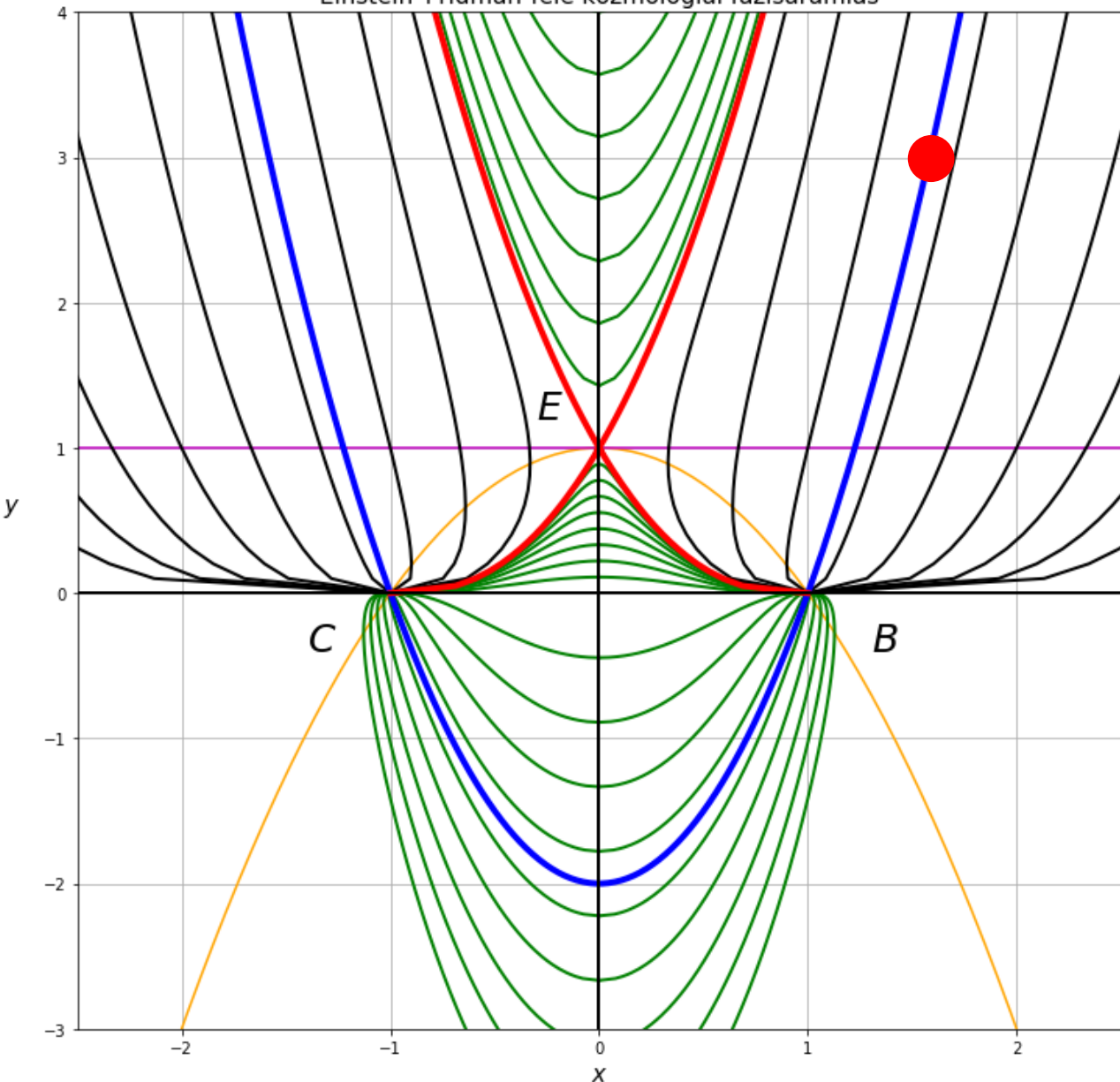
baloldali félsík:
összeomló világ

B: Big Bang,
a Nagy Bumm,
taszító pont

C: Big Crunch,
a Nagy Reccs,
vonzó pont

E: az Einstein-féle
sztatikus világ,
instabil fixpont

Einstein-Fridman-féle kozmológiai fázisáramlás



kék és piros görbék:
szeparátrixok

zöld és fekete görbék:
további lehetséges
Univerzum-trajektóriák

jobboldali félsík:
táguló világ

baloldali félsík:
összeomló világ

**B: Big Bang,
a Nagy Bumm,
taszító pont**

**C: Big Crunch,
a Nagy Reccs,
vonzó pont**

**E: az Einstein-féle
sztatikus világ,
instabil fixpont**



Precíziós kozmológia (1990–2010)

Három független mérés alapján egy százalék pontossággal meghatározták a mai Univerzum paramétereit.

dgy: **Határtalan (?) Világegyetem**
Atomcsill, 2019.01.17

**eredmény:
rajta vagyunk a
kék görbén**

**azaz a tér
geometriája sík,
a világ végtelen**

**No de a kék görbe egy instabil,
taszító szeparátrix!**

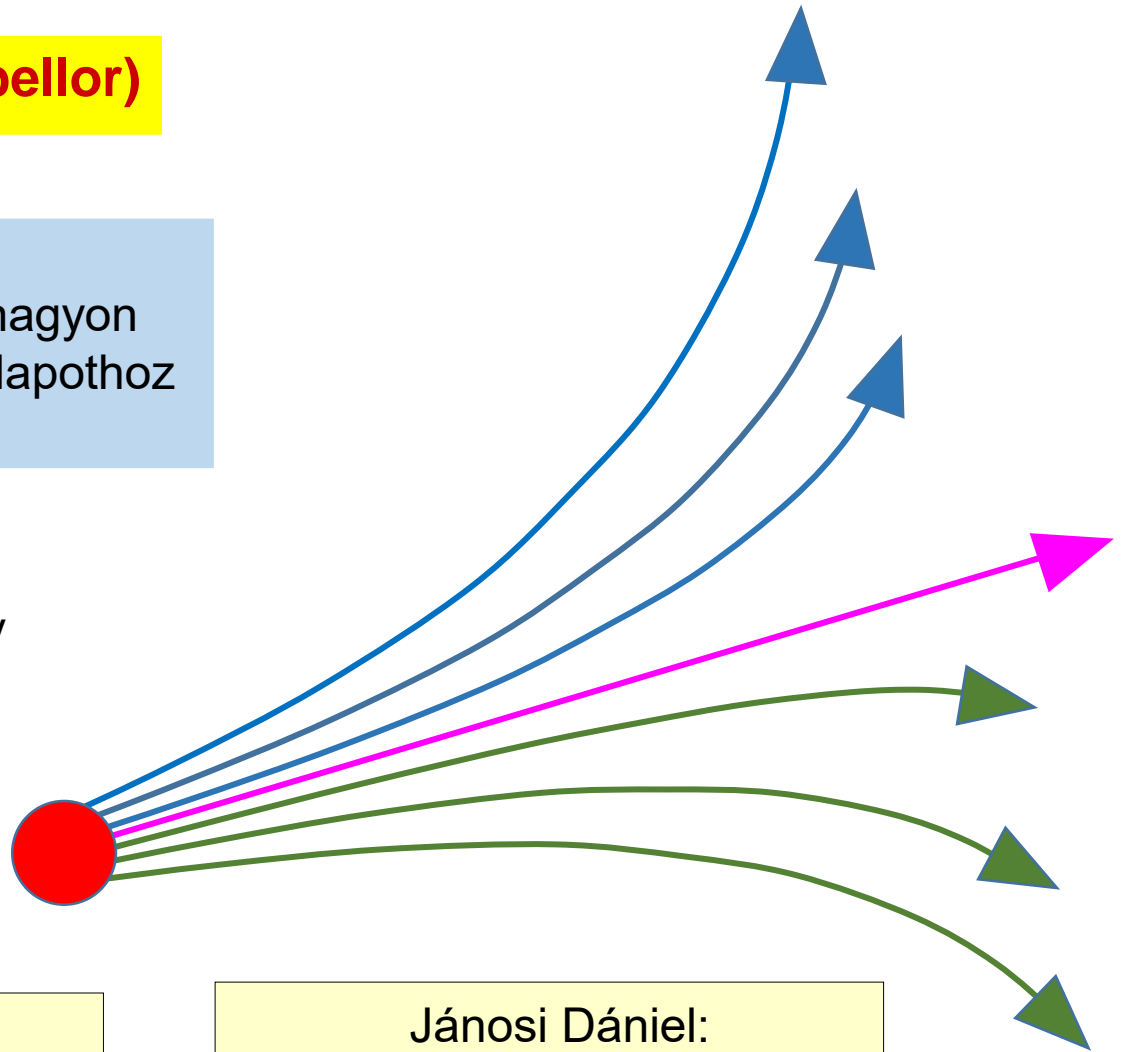
Miért vagyunk még mindig rajta?



Instabil szeparátrix (repellor)

nagyon hasonló
kezdőállapotok nagyon
különböző végállapothoz
vezetnek

a szeparátrixtól való
eltávolodáshoz tartozik egy
karakterisztikus időtartam



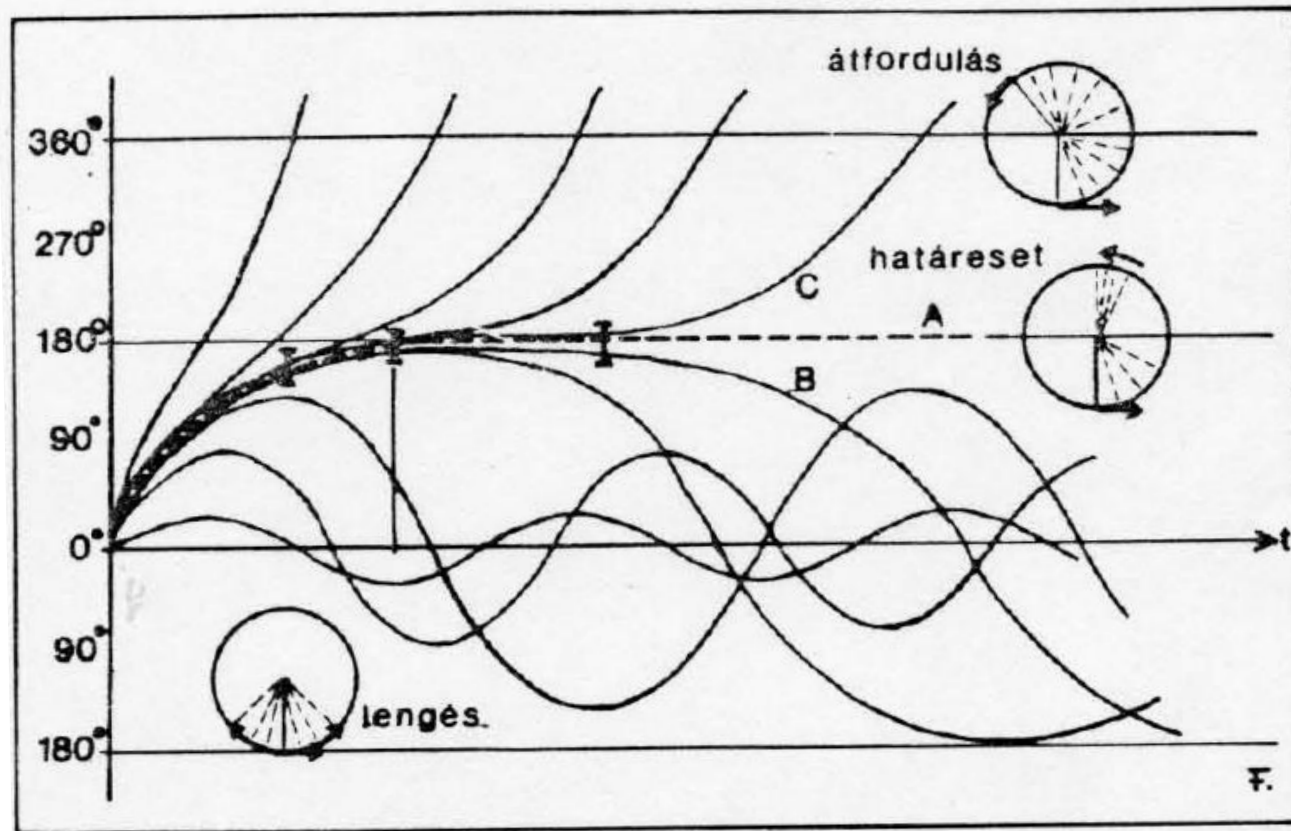
Gruiz Márton:
A káosz fizikája
Atomcsill, 2010.01.14

Jánosi Dániel:
Amikor a káosz sem állandó
Atomcsill, 2024.01.25

Példa: a rúdinga

leng
vagy
forog

karakterisztikus idő:
a lengésidő
(pl. 1 s)



határesetben (kritikus energiánál)
végtelen idő alatt cammog fel a felső instabil pontba

dgy:
A lakható Világegyetem
Természet Világa 1970/6

de ez nagyon valószínűtlen!

Az Univerzum
tágulásának
karakterisztikus
ideje
a Planck-idő:

$$t_p = \sqrt{\frac{hG}{c^5}}$$

$$\sim 10^{-43} \text{ s}$$

Az Univerzum
jelenlegi kora

kb. 10 milliárd év

$$\sim 10^{17} \text{ s}$$

Az Univerzum a saját időskáláját
 10^{60} -szorosán túlélve még mindig
az instabil repellor közelében van!

Nagyon pontosan kellett
elgurítani a húszfillérest...



Az Univerzum a saját természetes időskáláját
 10^{60} -szorosán túlélve még mindig
az instabil repellor közelében van!

Ez nagyon nagy pontosság, de nem végtelen!

És nem mindegy, hogy mekkora ez a nagy szám!

Ha csak **10^{50}** lenne a pontosság, akkor az
anyag a Nagy Bumm után 1 millió évvel vagy
összeroppant, vagy teljesen szétszóródott volna.

Ám ha a pontosság **10^{70}** lenne, akkor az
anyageloszlás még mindig olyan egyenletes
lenne, hogy ma sem lennének galaxisok.



Az Univerzum a saját természetes időskáláját 10^{60} -szorosán túlélve még mindig az instabil repellor közelében van!

Vajon mi okozhatja ezt?

Vagy csak számítási hiba?

Hoppá! Hiszen feltettük, hogy az anyag galaxispor állapotú, nyomás nélküli. De korábban a forró anyagban a fotonok domináltak!

dgy: **Feltámadás a hőhalálból**
Atomcsill, 2024.09.14

Írjuk be a programba a fotongáz $p = \varepsilon / 3$ állapotegyenletét!

[https://anvaka.github.io/fieldplay/?cx=-](https://anvaka.github.io/fieldplay/?cx=-1.0000499999999999&cy=0.39675000000000005&w=8.8927&h=8.8927&dt=0.01&fo=0.999&dp=0.01&cm=2&vf=%2F%2F%20p.x%20and%20p.y%20are%20current%20coordinates%0A%2F%2F%20v.x%20and%20v.y%20is%20a%20velocity%20at%20point%20p%0Avec%20get_velocity%28vec%20p%29%20%7B%0A%20%20vec%20v%20%3D%20vec%20280.%2C%200.%29%3B%0A%0A%20%20%2F%2F%20change%20this%20to%20get%20a%20new%20vector%20field%0A%20%20v.x%20%3D%202.*%28-1.%2Bp.y%2Bp.x*p.x%29%3B%0A%20%20v.y%20%3D%208.*p.x*p.y%3B%0A%0A%20%20return%20v%3B%0A%7D&code=%2F%2F%20p.x%20and%20p.y%20are%20current%20coordinates%0A%2F%2F%20v.x%20and%20v.y%20is%20a%20velocity%20at%20point%20p%0Avec%20get_velocity%28vec%20p%29%20%7B%0A%20%20vec%20v%20%3D%20vec%20280.%2C%200.%29%3B%0A%0A%20%20%2F%2F%20change%20this%20to%20get%20a%20new%20vector%20field%0A%20%20v.x%20%3D%202.*%28-1.%2Bp.y%2Bp.x*p.x%29%3B%0A%20%20v.y%20%3D%208.*p.x*p.y%3B%0A%0A%20%20return%20v%3B%0A%7D)

1.0000499999999999&cy=0.39675000000000005&w=8.8927&h=8.8927&dt=0.01&fo=0.999&dp=0.01&cm=2&vf=%2F%2F%20p.x%20and%20p.y%20are%20current%20coordinates%0A%2F%2F%20v.x%20and%20v.y%20is%20a%20velocity%20at%20point%20p%0Avec%20get_velocity%28vec%20p%29%20%7B%0A%20%20vec%20v%20%3D%20vec%20280.%2C%200.%29%3B%0A%0A%20%20%2F%2F%20change%20this%20to%20get%20a%20new%20vector%20field%0A%20%20v.x%20%3D%202.*%28-1.%2Bp.y%2Bp.x*p.x%29%3B%0A%20%20v.y%20%3D%208.*p.x*p.y%3B%0A%0A%20%20return%20v%3B%0A%7D&code=%2F%2F%20p.x%20and%20p.y%20are%20current%20coordinates%0A%2F%2F%20v.x%20and%20v.y%20is%20a%20velocity%20at%20point%20p%0Avec%20get_velocity%28vec%20p%29%20%7B%0A%20%20vec%20v%20%3D%20vec%20280.%2C%200.%29%3B%0A%0A%20%20%2F%2F%20change%20this%20to%20get%20a%20new%20vector%20field%0A%20%20v.x%20%3D%202.*%28-1.%2Bp.y%2Bp.x*p.x%29%3B%0A%20%20v.y%20%3D%208.*p.x*p.y%3B%0A%0A%20%20return%20v%3B%0A%7D



Az Univerzum a saját természetes időskáláját 10^{60} -szorosán túlélve még mindig az instabil repellor közelében van!

Vajon mi okozhatja ezt?

Vagy csak számítási hiba?

Hoppá! Hiszen feltettük, hogy az anyag galaxispor állapotú, nyomás nélküli. De korábban a forró anyagban a fotonok domináltak!

dgy: **Feltámadás a hőhalálból**
Atomcsill, 2024.09.14

Írjuk be a programba a fotongáz $p = \varepsilon / 3$ állapotegyenletét!

A számszerű részletek változtak, de az általános kép ugyanolyan.

Vajon milyen másik anyag dominálhatta az Univerzumot az Ősi Tűzgömb előtt?



Vajon milyen másik anyag dominálhatta az Univerzumot az Ősi Tűzgömb előtt?

Guth, Linde (1980): **a Higgs-mező**

dgy: **A tömeg eredete és a Higgs-mező**
Atomcsill, 2012.09.13

(a **skalármezők** egy fajtája)

állapotegyenlete: **$p = - \epsilon$**

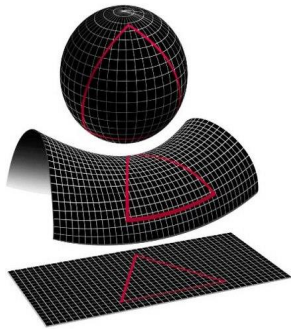
(igen, a nyomása negatív!)

[https://anvaka.github.io/fieldplay/?cx=-1.7474500000000006&cy=0.4844500000000005&w=15.0669&h=15.0669&dt=0.01&fo=0.999&dp=0.01&cm=2&vf=%2F%2F%20p.x%20and%20p.y%20are%20current%20coordinates%0A%2F%2F%20v.x%20and%20v.y%20is%20a%20velocity%20at%20point%20p%0Avec%20get_velocity%28vec%20p%29%20%7B%0A%20%20vec%20v%20%3D%20vec%280.%2C%200.%29%3B%0A%0A%20%20%2F%2F%20change%20this%20to%20get%20a%20new%20vector%20field%0A%20%20v.x%20%3D%202.*%281.%2Bp.y%2B-p.x*p.x%29%3B%0A%20%20v.y%20%3D%200.*p.x*p.y%3B%0A%0A%0A%20%20%0A%20%20return%20v%3B%0A%7D](https://anvaka.github.io/fieldplay/?cx=-1.7474500000000006&cy=0.4844500000000005&w=15.0669&h=15.0669&dt=0.01&fo=0.999&dp=0.01&cm=2&vf=%2F%2F%20p.x%20and%20p.y%20are%20current%20coordinates%0A%2F%2F%20v.x%20and%20v.y%20is%20a%20velocity%20at%20point%20p%0Avec%20get_velocity%28vec%20p%29%20%7B%0A%20%20vec%20v%20%3D%20vec%280.%2C%200.%29%3B%0A%0A%20%20%2F%2F%20change%20this%20to%20get%20a%20new%20vector%20field%0A%20%20v.x%20%3D%202.*%281.%2Bp.y%2B-p.x*p.x%29%3B%0A%20%20v.y%20%3D%200.*p.x*p.y%3B%0A%0A%0A%20%20%0A%20%20return%20v%3B%0A%7D&code=%2F%2F%20p.x%20and%20p.y%20are%20current%20coordinates%0A%2F%2F%20v.x%20and%20v.y%20is%20a%20velocity%20at%20point%20p%0Avec%20get_velocity%28vec%20p%29%20%7B%0A%20%20vec%20v%20%3D%20vec%280.%2C%200.%29%3B%0A%0A%20%20%2F%2F%20change%20this%20to%20get%20a%20new%20vector%20field%0A%20%20v.x%20%3D%202.*%281.%2Bp.y%2B-p.x*p.x%29%3B%0A%20%20v.y%20%3D%200.*p.x*p.y%3B%0A%0A%0A%20%20%0A%20%20return%20v%3B%0A%7D)

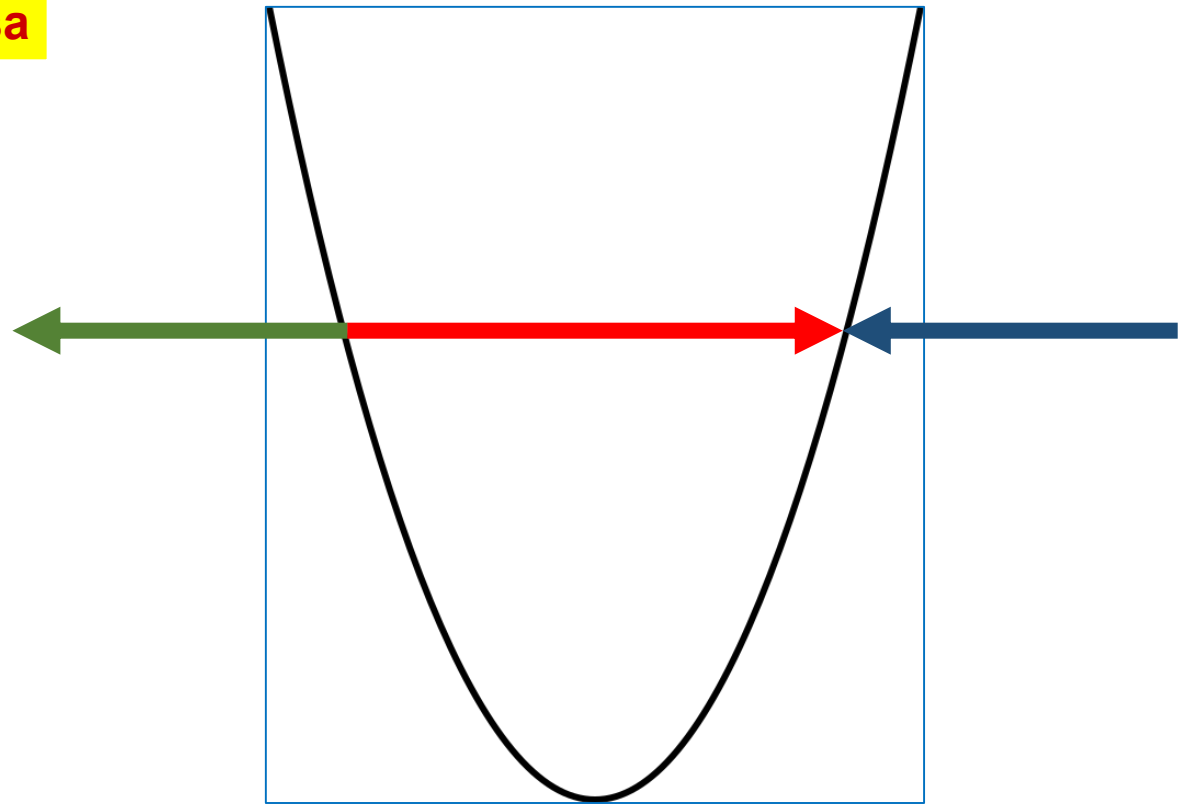


A Higgs-mező dominálta Univerzum fázisáramlása

A sík geometriájú
térhez tartozó
parabola most
vonzó görbe
(attraktor)



Akár szférikus, akár
hiperbolikus kezdeten a tér,
ennek a folyamatnak a végére
majdnem tökéletesen sík lesz



ez a **kozmosz infláció**
korszaka

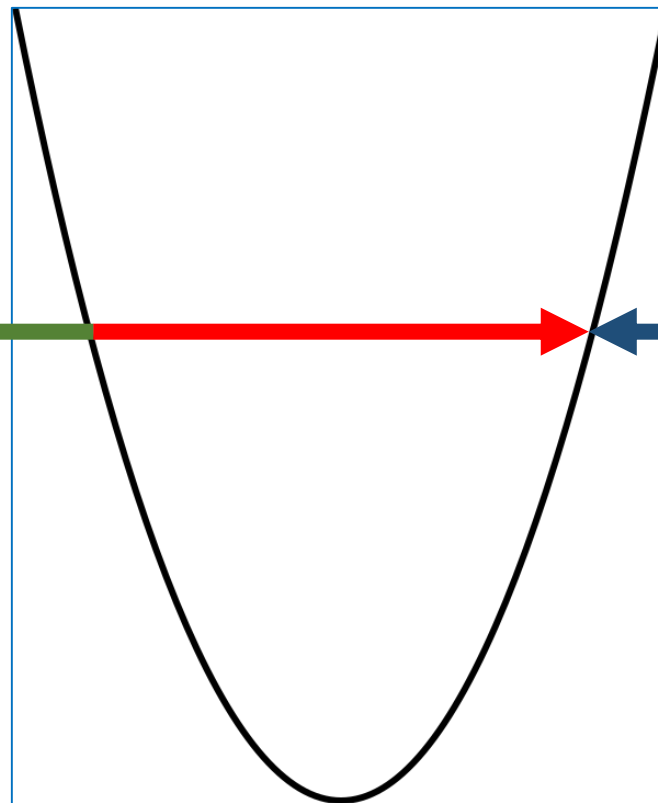
Most már megérthetjük a jelenlegi világ **nagyon furcsa, instabil állapotát:**

az inflációs időszakban „**a kék görbe**”, a **sík téri**dő volt a stabil állapot

akármilyen volt a még korábbi állapot, az infláció rávitte a világot a **szeparátrixra**

olyannyira, hogy az infláció elmúltával azóta sem tudott lényegesen eltávolodni tőle

olyannyira, hogy még 10^{60} időegység elteltével is az instabil repellor közelében van!



ez a **kozmosz** infláció korszaka

Kozmikus infláció

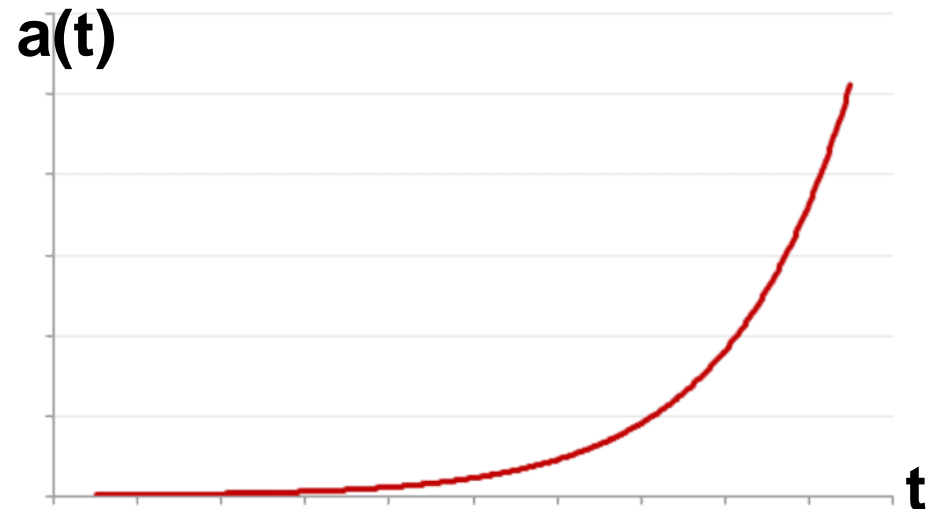
ebben a korszakban az $a(t)$ függvény exponenciálisan nőtt

rövid idő alatt 10^{60} -szorosára növekedett*

parányi térbeli tartományok kozmikus méretűre fúvódtak fel

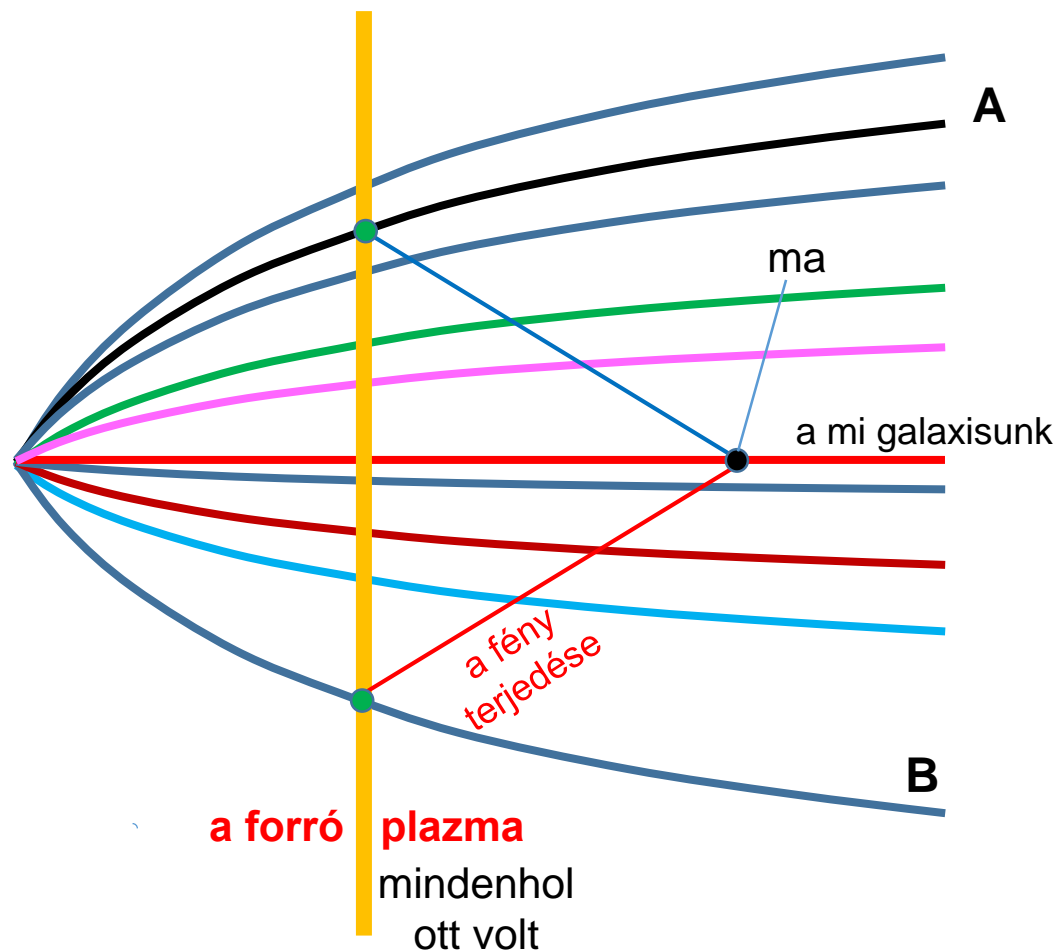
*az irodalomban 10^{26} és 10^{60} között sokféle adat előfordul

a Higgs-mező dominálta inflációs korszakban könnyen megoldhatjuk az Einstein–Fridman-egyenleteket



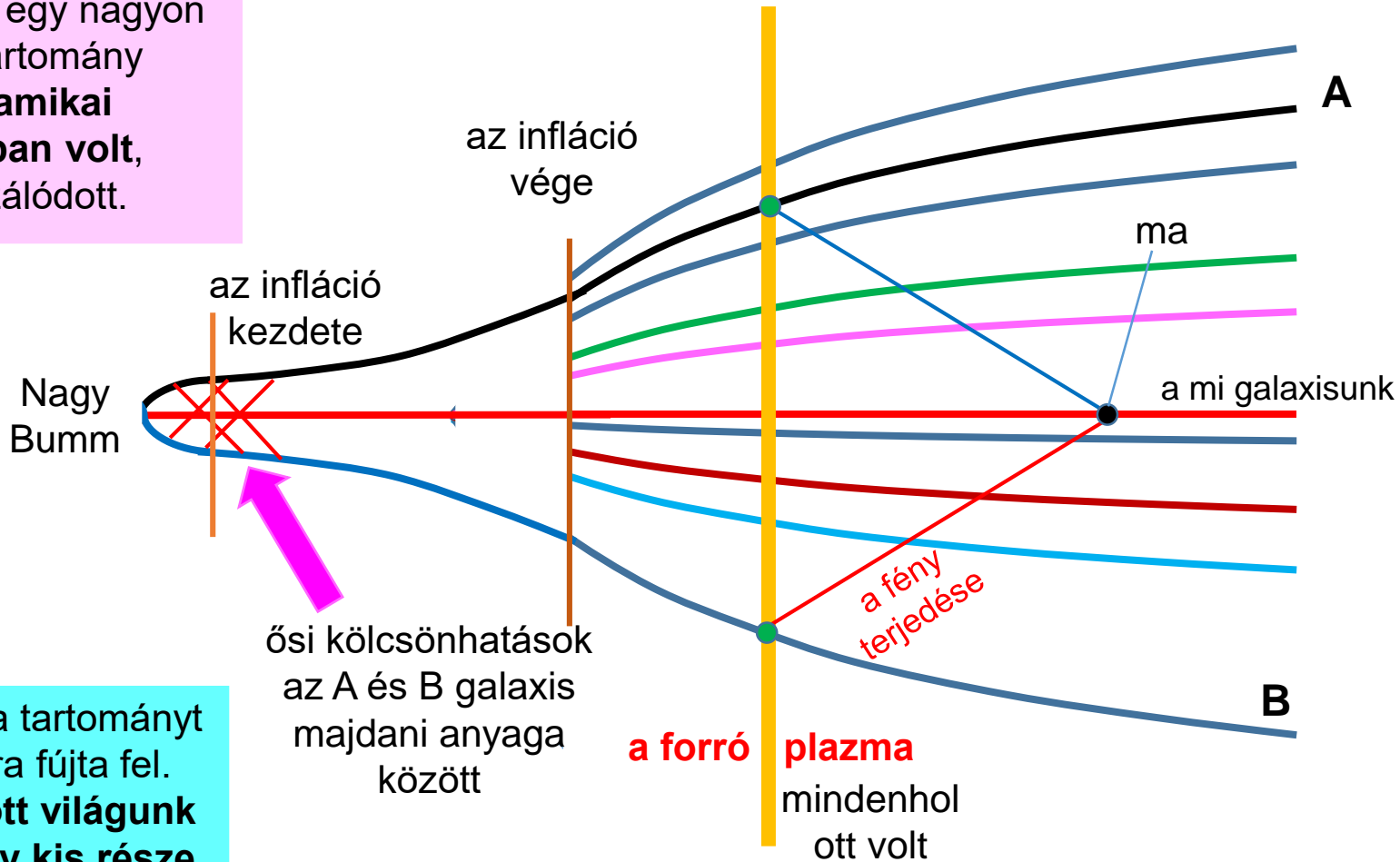
Ez a gyors felfúvódás (infláció) „**simította ki**” a téridőt majdnem pontosan síkra

Az infláció megmagyarázza a világ rejtélyes homogenitását is!



Az infláció megmagyarázza a világ rejtélyes homogenitását is!

Az infláció előtt egy nagyon kis térbeli tartomány **termodinamikai egyensúlyban volt**, homogenizálódott.



ősi kölcsönhatások az A és B galaxis majdani anyaga között

Az infláció ezt a tartományt nagyon nagyra fújta fel. **Egész ma látott világunk ennek csak egy kis része.** Ezért sima és homogén.



Miért gömbölyű a Föld?

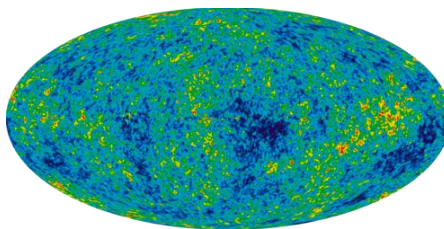
- csak
- az istenek így akarják
- az istenek szeretik a gömböt
- a gömb szép
- a gömb a legtökéletesebb test
- a gömb egy adattal leírható
- van egy **dinamikai modellem** a Föld keletkezéséről (**olvadt kőzet**)

Miért homogén a Világegyetem?

- csak
- az istenek így akarják
- az istenek szeretik a homogenitást
- a homogenitás szép
- a homogenitás tökéletes
- a homogenitás egy adattal leírható
- van egy **dinamikai modellem** az Univerzum fejlődéséről (**infláció**)

Miért nem PONTOSAN gömbölyű a Föld?

a dinamikai modell megadja az eltérés mértékét: 10^{-4}



Miért nem PONTOSAN homogén a világ?

a dinamikai modell megadja az eltérés mértékét: 10^{-4}

Az első két rendszerváltás

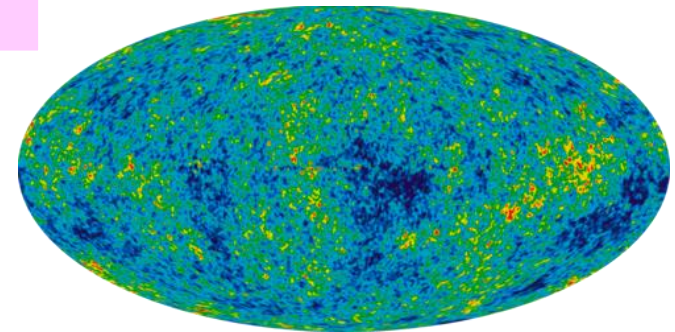
10^{-36} s – 10^{-32} s

Az infláció kezdete és vége volt az első két ismert rendszerváltás („**anyagcsere**”) az Univerzum történetében.

Már az infláció előtt is végtelen sok dolog történt (ne feledjük: a nulla nincs benne a halmazban!), de a „kivasalás” eltüntette a nyomokat.

De nem tökéletesen!
Az infláció előtti apró „**kvantumfluktuációkat**” a felfúvódás kozmikus méretűvé növelte

Ezeknek a nyomai az apró ingadozások a háttérsugárzás eloszlásában, és ezekből lettek a mai kozmikus struktúrák.



Az infláció előnyei az Univerzum lakói számára

Az infláció kisimította a világot, és tartósan ebben az állapotban hagyta.

Létrehozott egy hatalmas homogén tartományt, amelyben nagyobb térbeli görbületek és szinguláris katasztrófák nélkül múlhatnak a következő évmilliárdok.

Enélkül nemcsak a hőmérséklet és a sűrűség, hanem a gravitáció is vadul ingadozna.

(Háromtest-probléma a köbön: téridő-szingularitások a mixmaster-univerzumban: ebben nem jó élni)

A mi világunkban a gravitáció udvariasan a háttérben marad, szolidan tágítja az Univerzumot, egészen 380 ezer évig, amikor aztán elkezdi sűríteni és csomósítani az anyagot...



Az infláció előnyei az Univerzumot vizsgáló fizikusok számára

Az infláció utáni homogén Univerzum fejlődése néhány egyszerű időfüggvénnyel leírható..

Ezt az egyszerűséget az inflációs korszaknak köszönhetjük. Azaz a skalármezőknek.

Ezért a fizikusok alig száz év munka után elmondhatják:

Aztán jött az anyag többi fajtája, és jól megkavarta a dolgokat...

$$\varepsilon(t)$$

energiasűrűség

$$p(t)$$

nyomás

$$a(t)$$

skálafüggvény

Most már épp eleget tudunk a fizikából ahhoz, hogy megérthessünk egy olyan egyszerű dolgot, mint a Világegyetem.

sőt azt is értjük, hogy miért ilyen egyszerű...



Epilógus a szünet előtt

Felépítettük a színházat, és megtanultuk a játékszabályokat.

Láttuk az első (ismert) felvonást, és annak főszereplőjét, a **skalármezőt**.

Ő kitakarította a színházat, és létrehozott egy hatalmas arénát a későbbi felvonások számára.

Az előadás második részében megismerkedünk a többi szereplővel (mindegyik mező...). Aztán kezdődhet a játék.

A cselekmény viszonylag egyszerű lesz, hiszen **a szereplők jelleméből következik...**

Azazhoggy...

Izé...

Hoppá...



Epilógus a szünet előtt

Felépítettük a színházat, és megtanultuk a játékszabályokat.

Láttuk az első (ismert) felvonást, és annak főszereplőjét, a **skalármezőt**.

Ő kitakarította a színházat, és létrehozott egy hatalmas arénát a későbbi felvonások számára.

Az előadás második részében megismerkedünk a többi szereplővel (mindegyik mező...). Aztán kezdődhet a játék.

A cselekmény viszonylag egyszerű lesz, hiszen **a szereplők jelleméből következik...**

Azazhoggy...

Izé...

Hoppá...

Addig is: köszönöm a figyelmet!



Köszönöm a figyelmet!

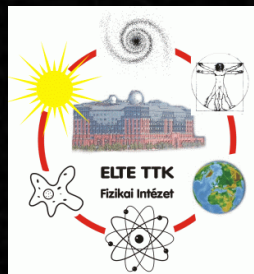


Köszönöm a figyelmet!

Az Élet, a Világmindenség meg Minden

az Univerzum története
a Nagy Bummtól az
értelemig és tovább

Dávid Gyula
2024. 09. 12.



Az atomoktól a csillagokig
huszadik évad