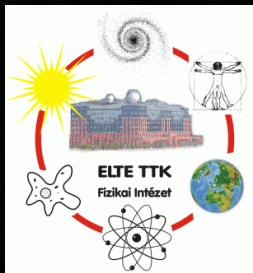


The image shows a group of people silhouetted against a twilight sky. They are positioned on a dark hillside, looking towards a city with lights visible in the distance. The sky transitions from a deep blue at the top to a soft orange and pink near the horizon. The overall mood is contemplative and serene.

# Határtalan (?) Világegyetem

# Határtalan (?) Világegyetem



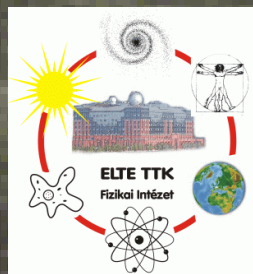
**Az atomoktól a csillagokig**

**Dávid Gyula**

**2019. 01. 17.**



# Határtalan (?) Világegyetem



Az atomoktól a csillagokig

Dávid Gyula  
2019. 01. 17.

## Ősi kérdések

Vajon mekkora a világ?

Véges vagy végtelen?

Ha nincs vége,  
hogyan lehet ezt elképzelni?

Ha vége van,  
mi lehet azon túl?

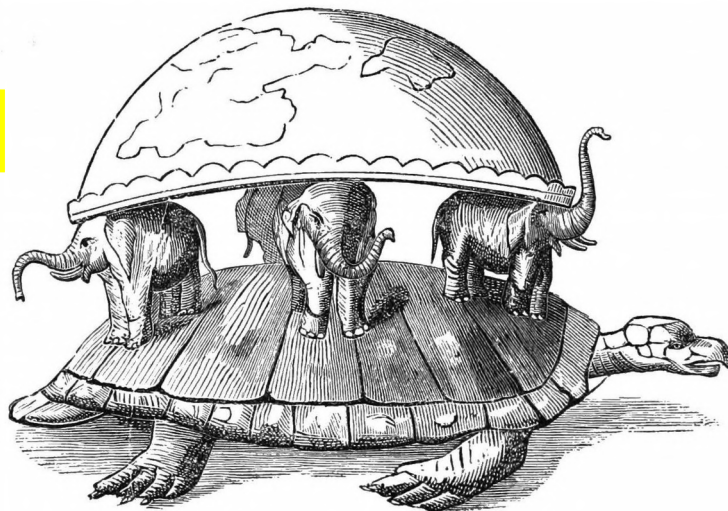
Véges vagy végtelen  
térben és/vagy időben?



Én fölnéztem az est alól  
az eget fogaskerekére  
(J.A.)



# Ősi válaszok



# THE WORLD IS A CAT



## PLAYING WITH AUSTRALIA

MontyBoy.net



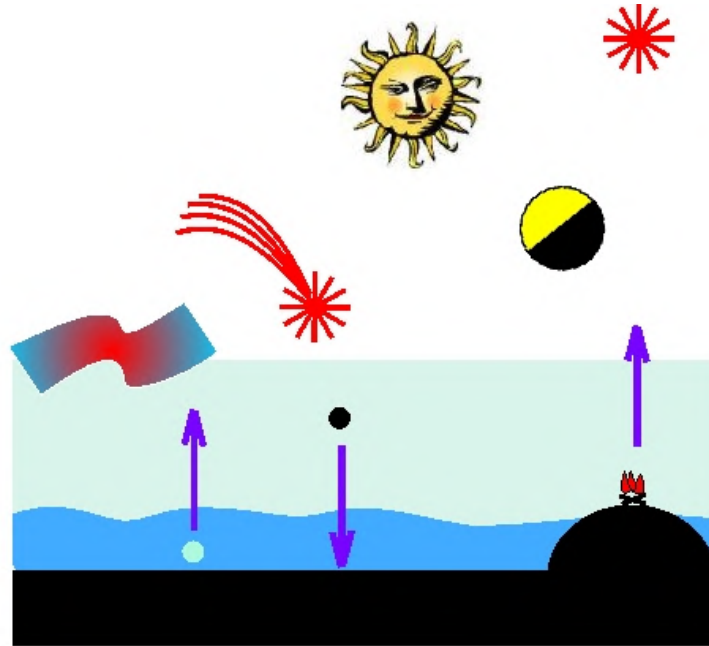
# Az első komoly tudományos elmélet



Ptolemaiosz  
(90-168)

Az ókori görögök „fizikája” és kémiája

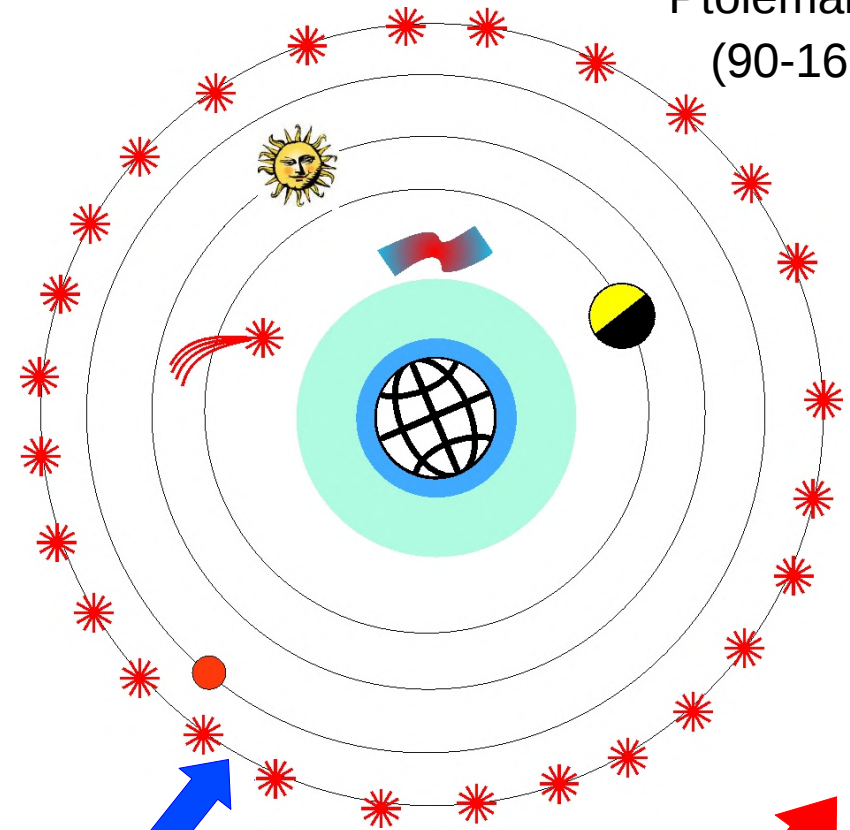
és kozmogóniája



a testek természetes állapota

a Földön  
a NYUGALOM

az égen  
az egyenletes  
körmozgás



a csillagok szférája  
(a Világ vége)

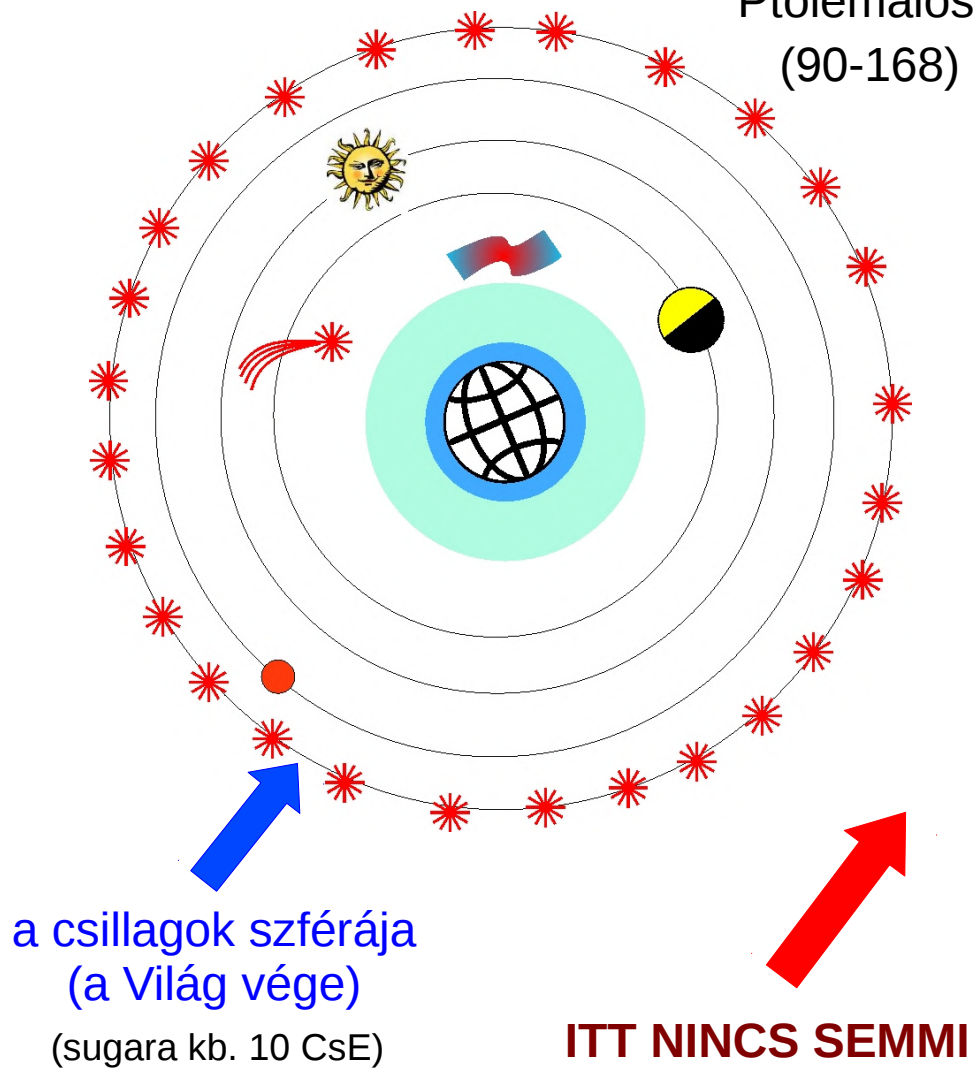
(sugara kb. 10 CsE)

**ITT NINCS SEMMI**





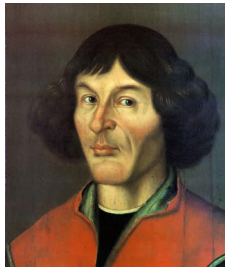
Ptolemaiosz  
(90-168)





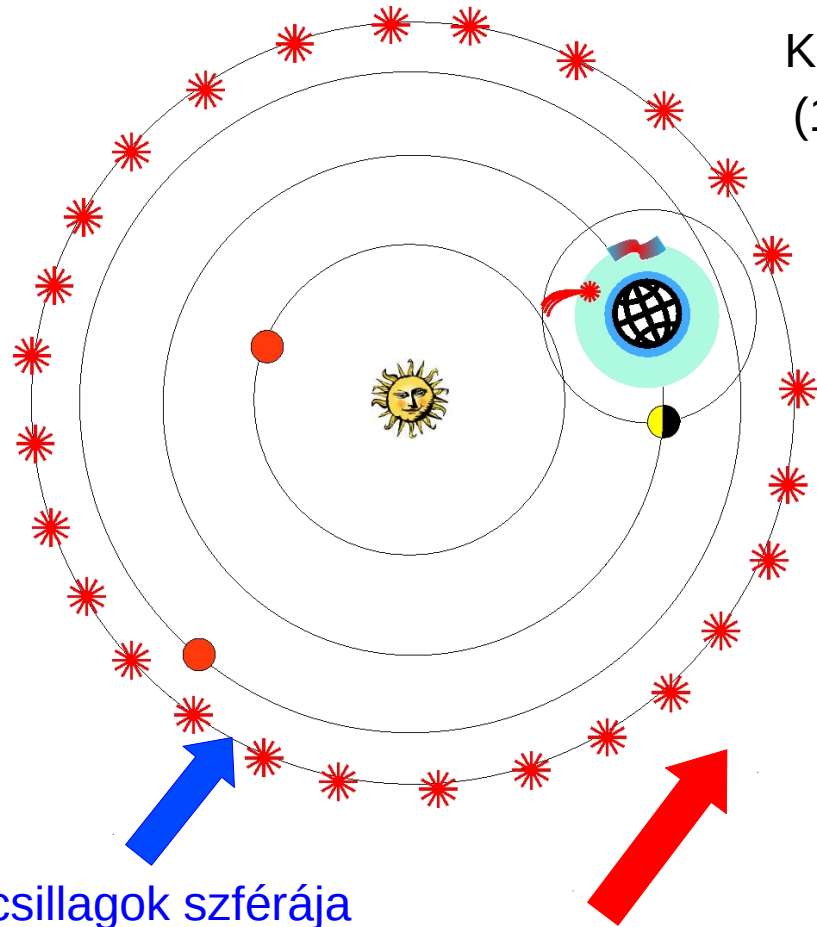
# A kopernikuszi fordulat

a Föld többé  
nem a világ közepe!



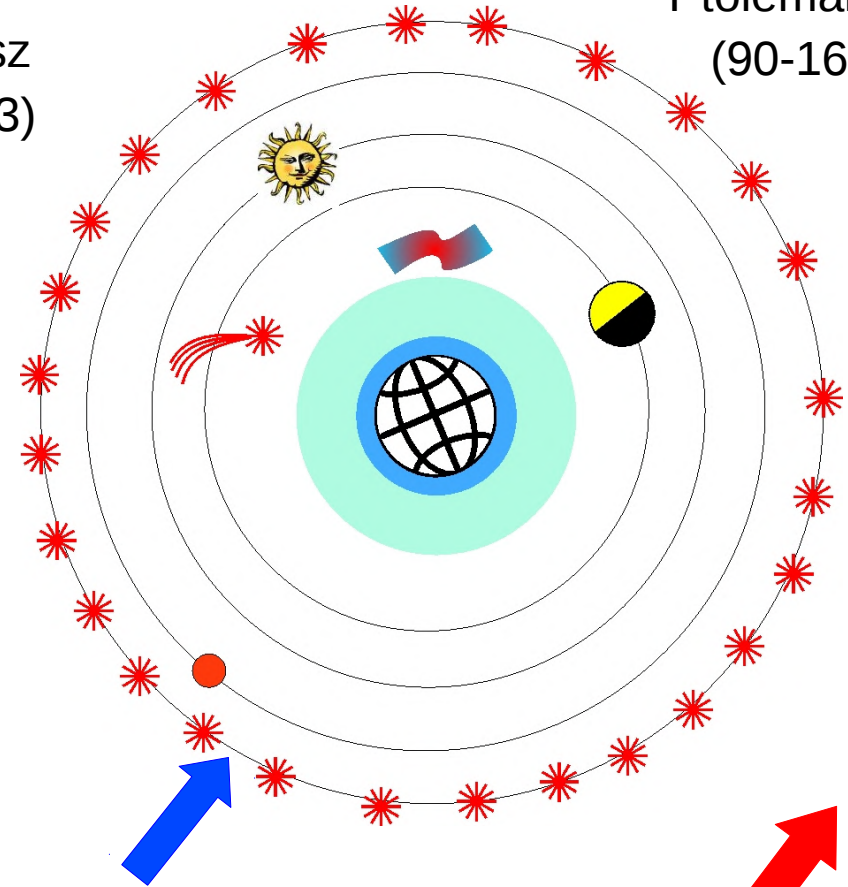
Ptolemaiosz  
(90-168)

Kopernikusz  
(1473-1543)



a csillagok szférája  
(a Világ vége)  
(sugara kb. 50 CsE)

**ITT MÉG MINDIG  
NINCS SEMMI**



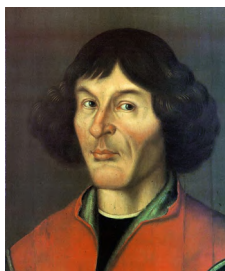
a csillagok szférája  
(a Világ vége)  
(sugara kb. 10 CsE)

**ITT NINCS SEMMI**



Az Újkor határán...

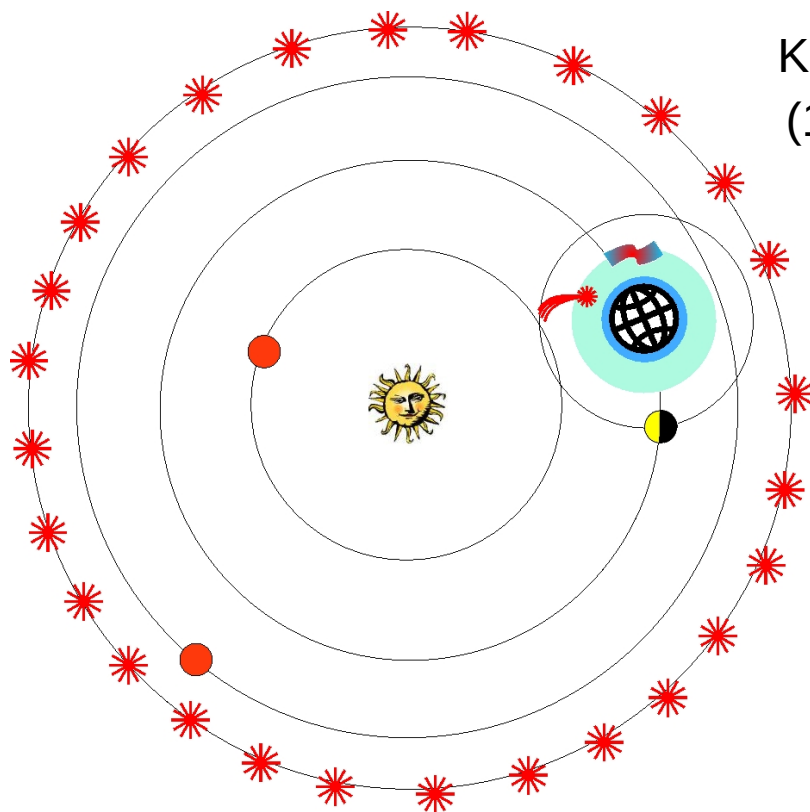
**Bruno felfedezi a végtelent**



Kopernikusz  
(1473-1543)



Giordano Bruno  
(1548-1600)

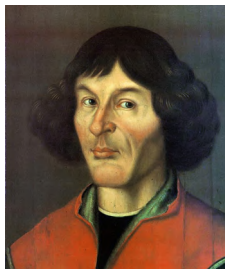


Ki más érdemelné ki a központi helyet,  
mint a Mindenség Uralkodója,  
a fényességes Nap?

(NC)

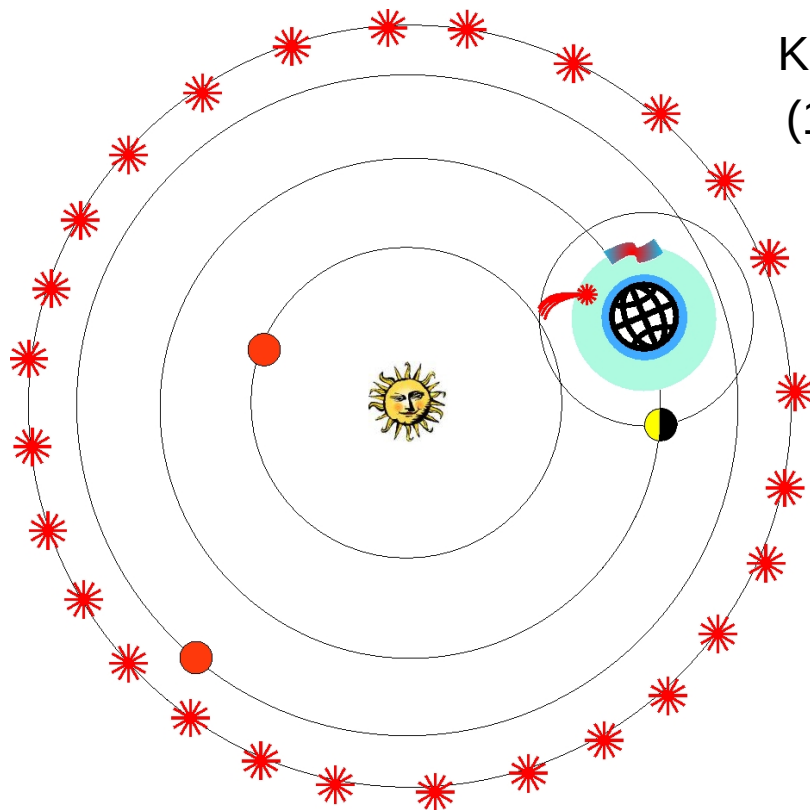
Az Újkor határán...

# Bruno felfedezi a végtelent



Kopernikusz  
(1473-1543)

Giordano Bruno  
(1548-1600)

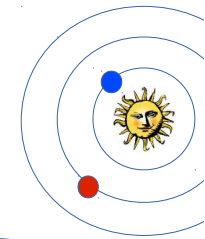
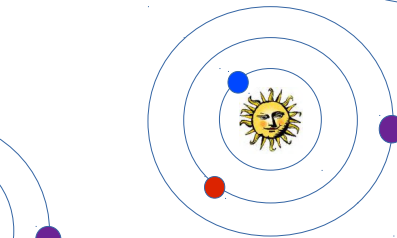
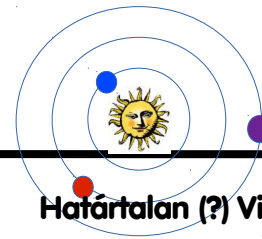
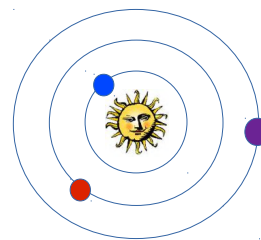


**Az állócsillagok  
távoli Napok  
a végtelen világban**

Az égben szárnyaimmal büszkén járok  
Kristályégbolt nem szab nekem határt...  
(GB)

Ki más érdemelné ki a központi helyet,  
mint a Mindenség Uralkodója,  
a fényességes Nap?

(NC)





Az Újkor határán...

# Bruno felfedezi a végtelent

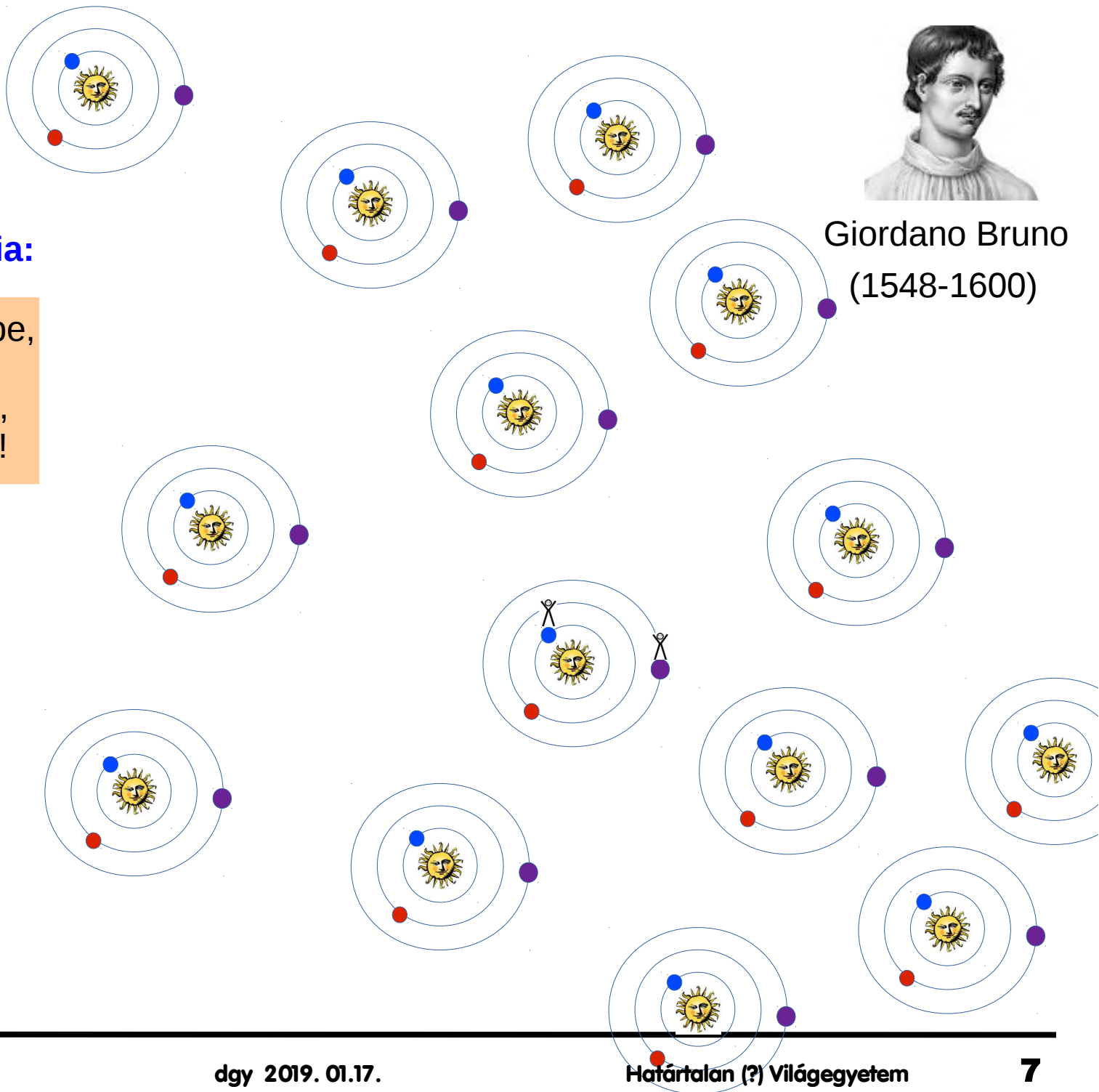
## Kozmikus demokrácia:

a Világnak nincs közepe, végtelen, és bárhol nézel körül, ugyanolyannak látod!

Ezt Bruno találta ki, ezért hívják **kopernikuszi elvnek...**



Giordano Bruno  
(1548-1600)



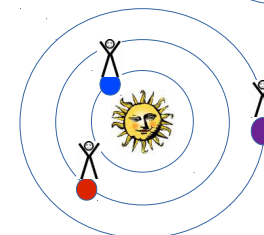
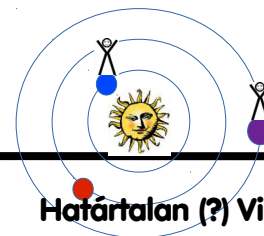
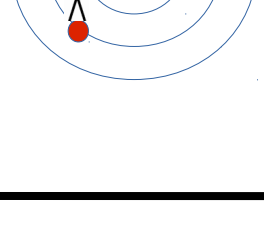
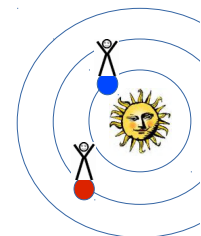
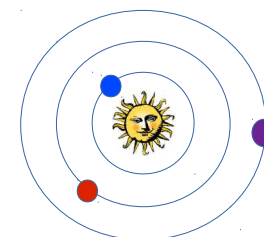
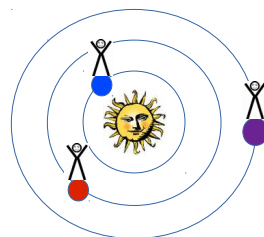
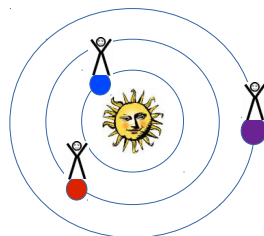
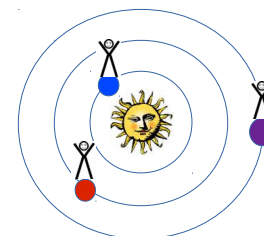
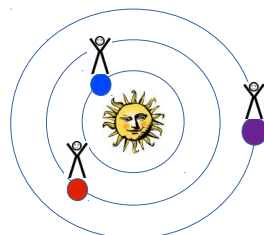
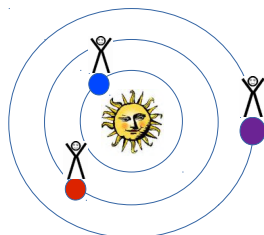
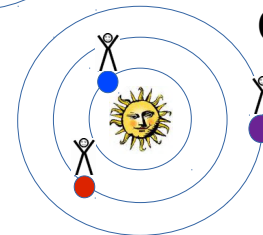
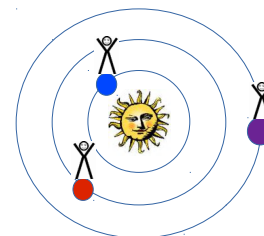
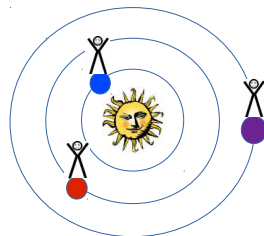
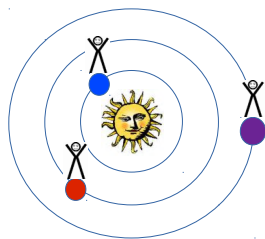
Az Újkor határán...

# Bruno felfedezi a végtelent

## Kozmikus demokrácia:

a Világnak nincs közepe, végtelen, és bárhol nézel körül, ugyanolyannak látod!

Ezt Bruno találta ki, ezért hívják **kopernikuszi elvnek...**



Giordano Bruno (1548-1600)

A túlzásba vitt kozmikus demokrácia:  
**Bruno szerint minden bolygón élnek emberek**



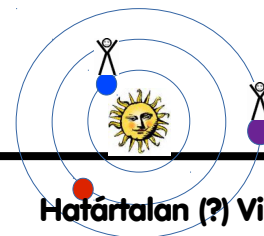
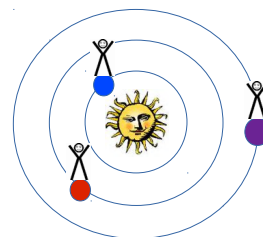
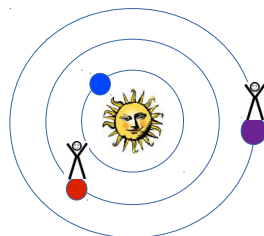
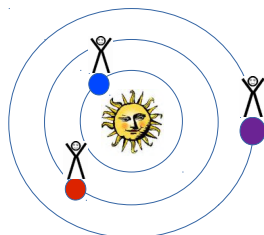
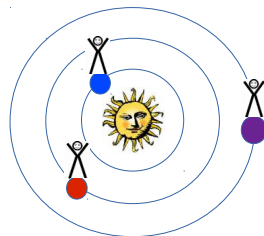
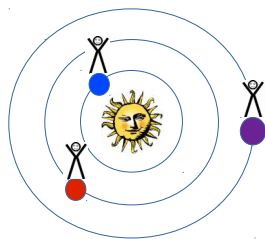
Az Újkor határán...

## Bruno felfedezi a végtelent

**Kozmikus demokrácia:**

a Világnak nincs közepe, végtelen, és bárhol nézel körül, ugyanolyannak látod!

Ezt Bruno találta ki, ezért hívják **kopernikuszi elvnek...**



Giordano Bruno  
(1548-1600)

Brunot 1600. február 12-én elégették nézeteiért

Az égben szárnyaimmal büszkén járok  
Kristályégbolt nem szab nekem határt...

(GB)

A túlzásba vitt kozmikus demokrácia:  
**Bruno szerint minden bolygón élnek emberek**





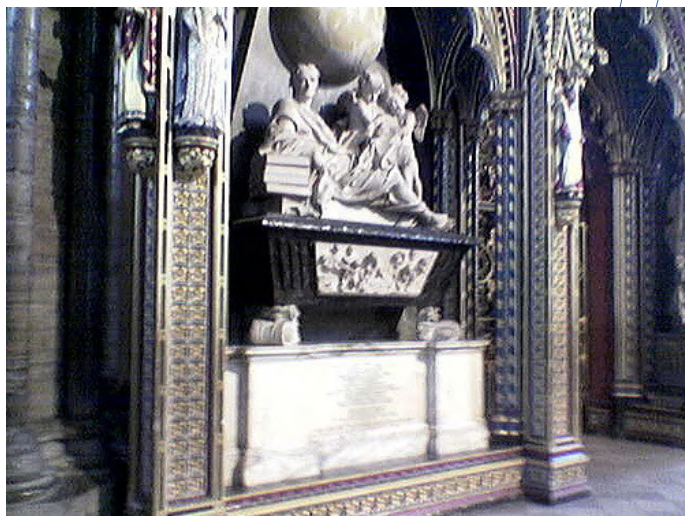
# Az Újkor határán...



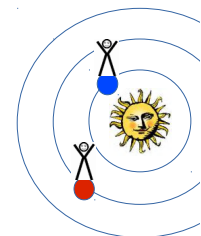
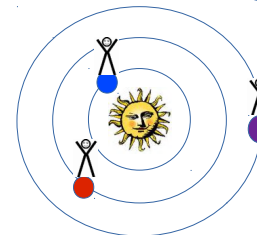
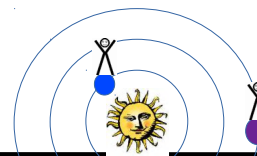
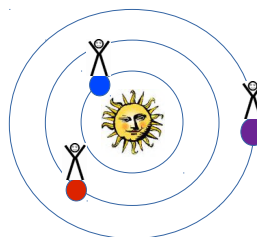
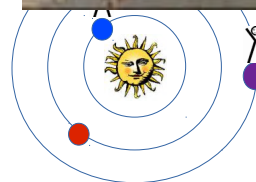
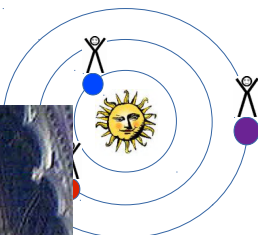
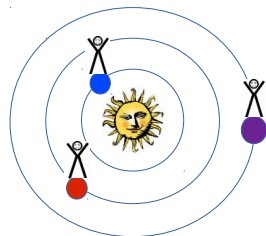
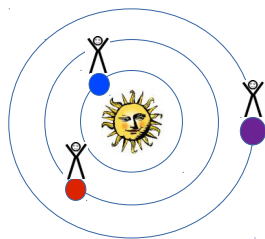
Galileo Galilei  
(1564-1642)



Isaac Newton  
(1642-1727)



Newton sírja a Westminster Apátságban



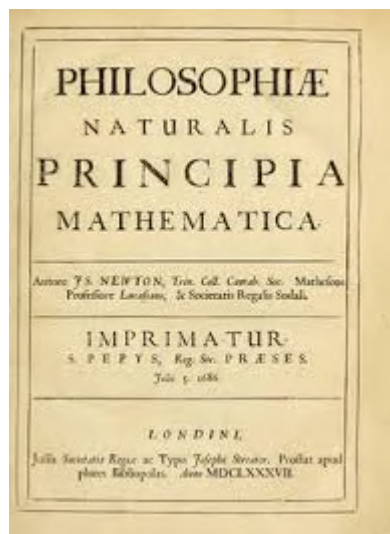
Giordano Bruno  
(1548-1600)

Brunot 1600. február 12-én  
elégették nézeteiért



Isaac Newton  
(1642-1727)

Főműve:



1686

- a mozgások leírásához szükséges matematika  
(differenciál- és integrálszámítás)

- a mozgások alaptörvényei

$$m a = F$$

- egyetemes tömegvonzás

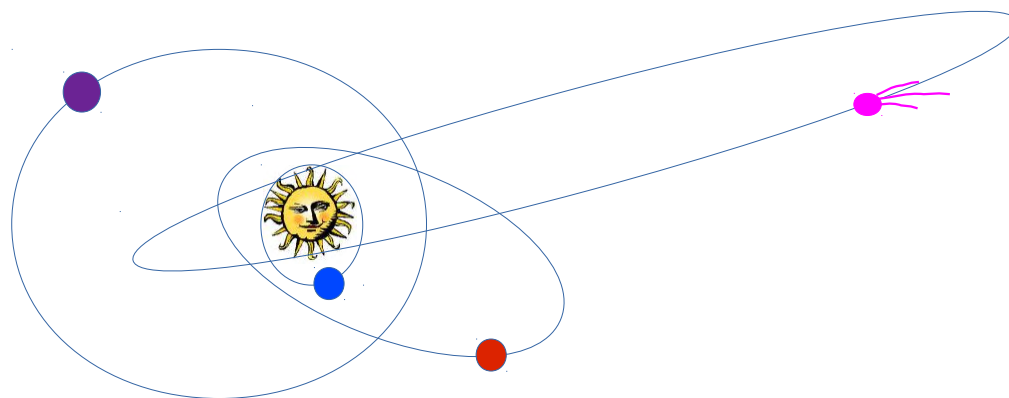
$$F = Gmm/r^2$$

Megszületett a newtoni mechanika  
és matematikailag  
megmagyarázta a Naprendszert!



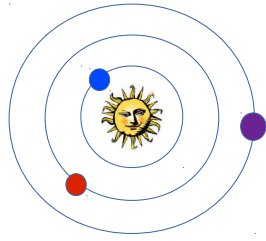
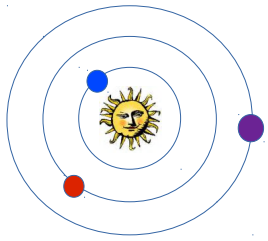
Johannes Kepler  
(1571-1630)

az ellipszispályák felfedezője



Elkészült a Nagy Mű, igen,  
A gép forog, az Alkotó pihen.

MI



- a mozgások leírásához szükséges matematika (differenciál- és integrálszámítás)

- a mozgások alaptörvényei

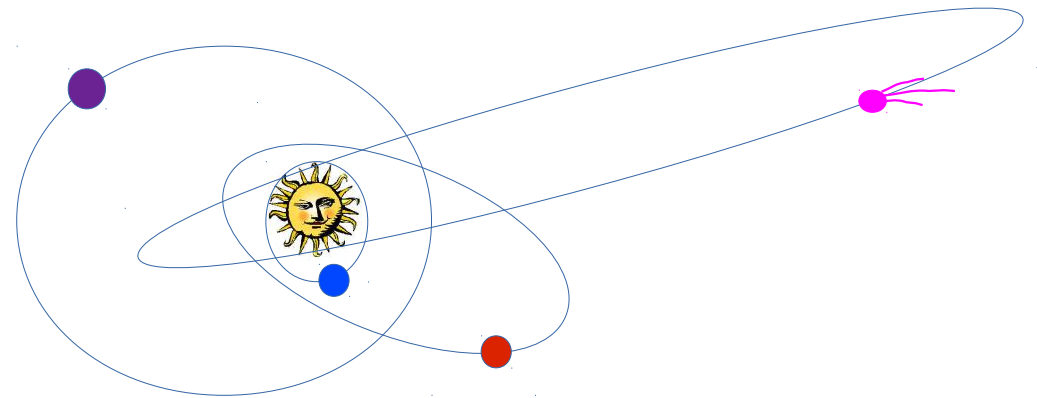
$$m a = F$$

- egyetemes tömegvonzás

$$F = Gmm/r^2$$

állócsillagok

Megszületett a newtoni mechanika és matematikailag megmagyarázta a Naprendszert!

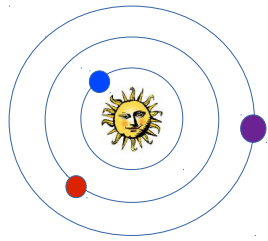
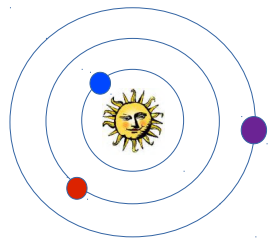


Elkészült a Nagy Mű, igen, A gép forog, az Alkotó pihen.

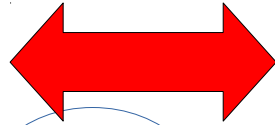
MI

Eközben a csillagászok lassan elfogadták Bruno végtelen világát



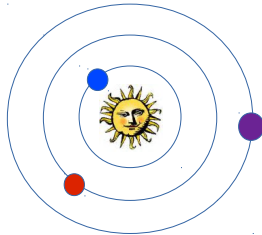
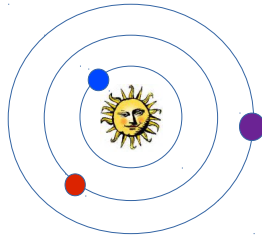
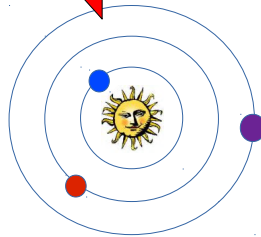
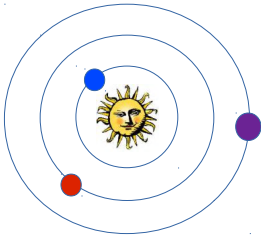
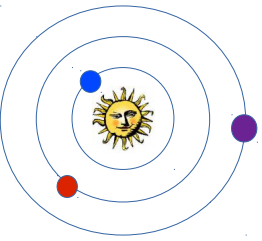


állócsillagok



- egyetemes tömegvonzás

$$F = Gmm/r^2$$



Eközben a csillagászok  
lassan elfogadták  
Bruno végtelen világát

## ELLENTMONDÁS

az új newtoni fizika  
és a brunói világkép között

állócsillagok

- egyetemes tömegvonzás

$$F = Gmm/r^2$$

**Miért állnak az állócsillagok?**

**Miért nem vonzotta őket össze  
egy kupacba  
az általános tömegvonzás?**

(főleg ha a világ már végtelen ideje létezik...)

Ez az ellentmondás egyetlen tudóst zavart:



Sir Isaac Newton

A többiek örültek  
a Naprendszer  
megmagyarázásának

Eközben a csillagászok  
lassan elfogadták  
Bruno végtelen világát

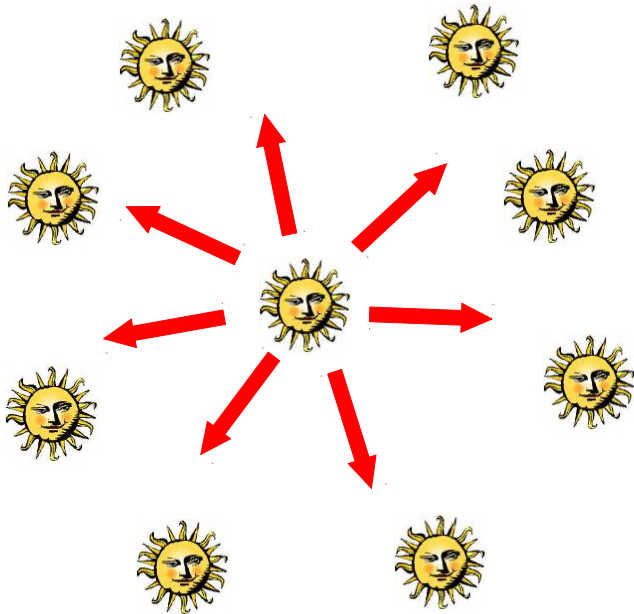
# További paradoxonok a végtelen és állandó világegyetemmel kapcsolatban:

## gravitációs



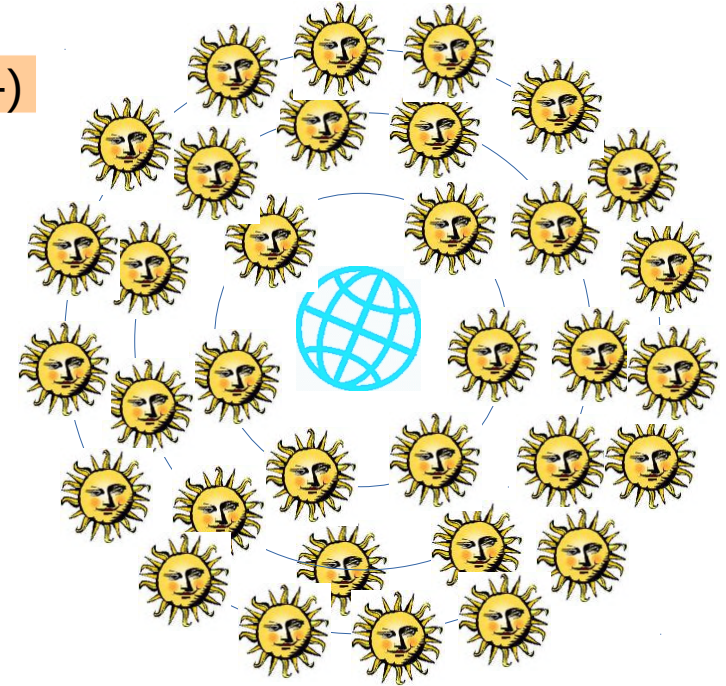
$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Merre mutat a gravitációs vonzás egy végtelen és homogén világban?



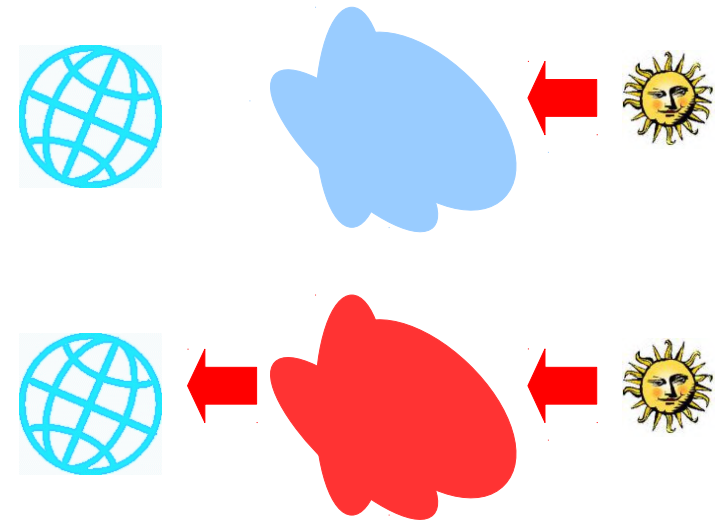
## fényességi (Olbers-)

Végtelen világban végtelen sok fény éri a Földet. De akkor miért van éjszaka sötét?

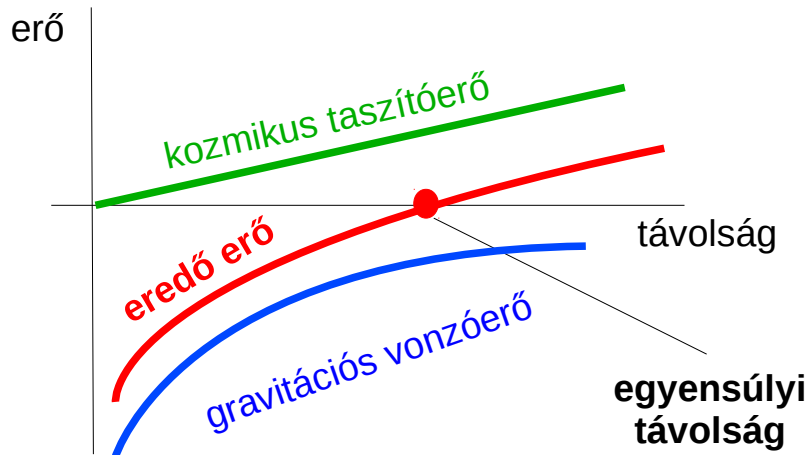


## termodinamikai

Miért vannak a végtelen ideje létező világban még mindig hideg és meleg dolgok?



## Kísérlet az állócsillag-paradoxon megoldására (1840)



A gravitációs vonzás és a (feltételezett) kozmikus taszítás bizonyos távolságon kiegyensúlyozza egymást.

Az ekkora távolságban levő állócsillagokra nem hat erő, „lebeghetnek”.



**Csak hogy ez a világ instabil lenne!**

Kis erőhatásra is felbomlana....

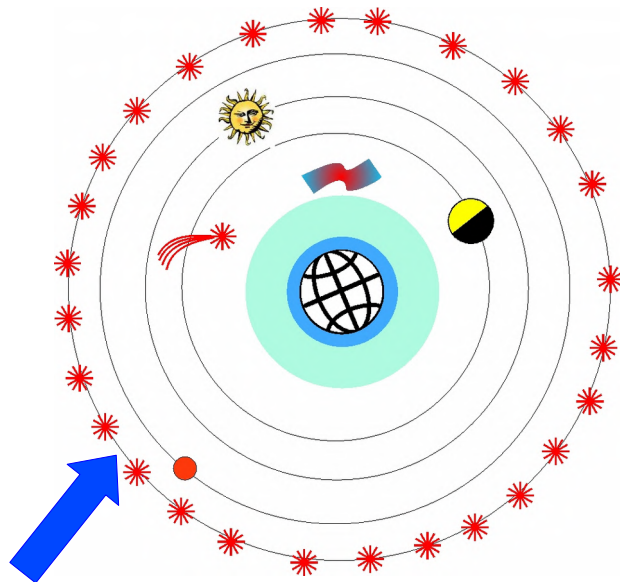




# De mekkora is a távcsővel látott világ?

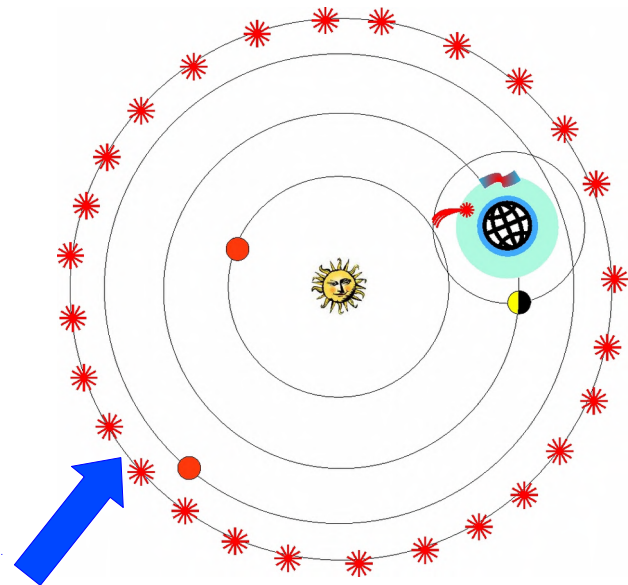
Milyen messze vannak a csillagok?

És hogyan lehet ezt megmérni?



a csillagok szférája  
(a Világ vége)

(sugara kb. 10 CsE)



a csillagok szférája  
(a Világ vége)

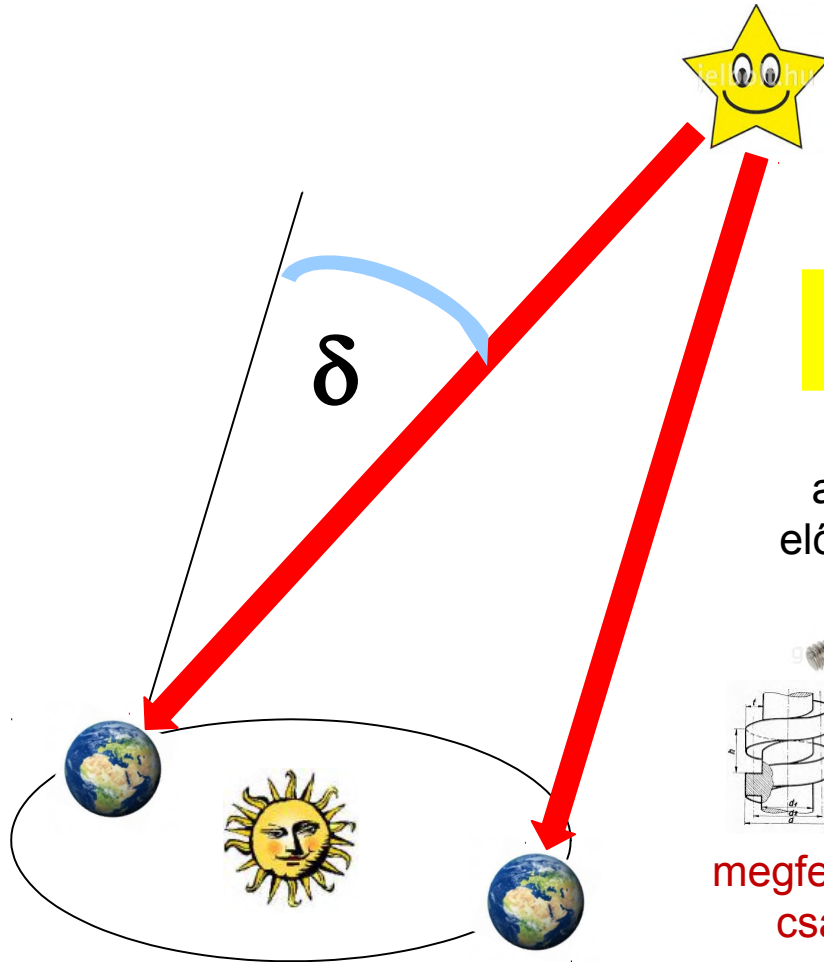
(sugara kb. 50 CsE)

CsE: csillagászati egység: a Föld-nap távolság (150 millió km)

# PARALLAXIS

hajdani érv Kopernikusz elmélete ellen:

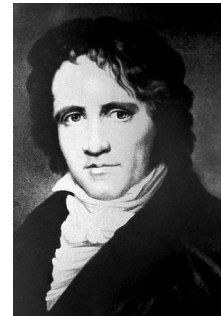
ha a Föld mozogna a Nap körül,  
akkor a csillagokat mindig  
**más irányban kellene látnunk!**




A frappáns válasz:

ez így is van,  
csak a  $\delta$  szög roppant kicsi!

első mérés:  
Bessel, 1838



 = Hattyú 61:  
 $\delta = 0,72''$

ezért távolsága  
11 fényév

a mérés  
előfeltétele:



megfelelően pontos  
csavarment  
hogy ne lötyögjön  
a távcső!

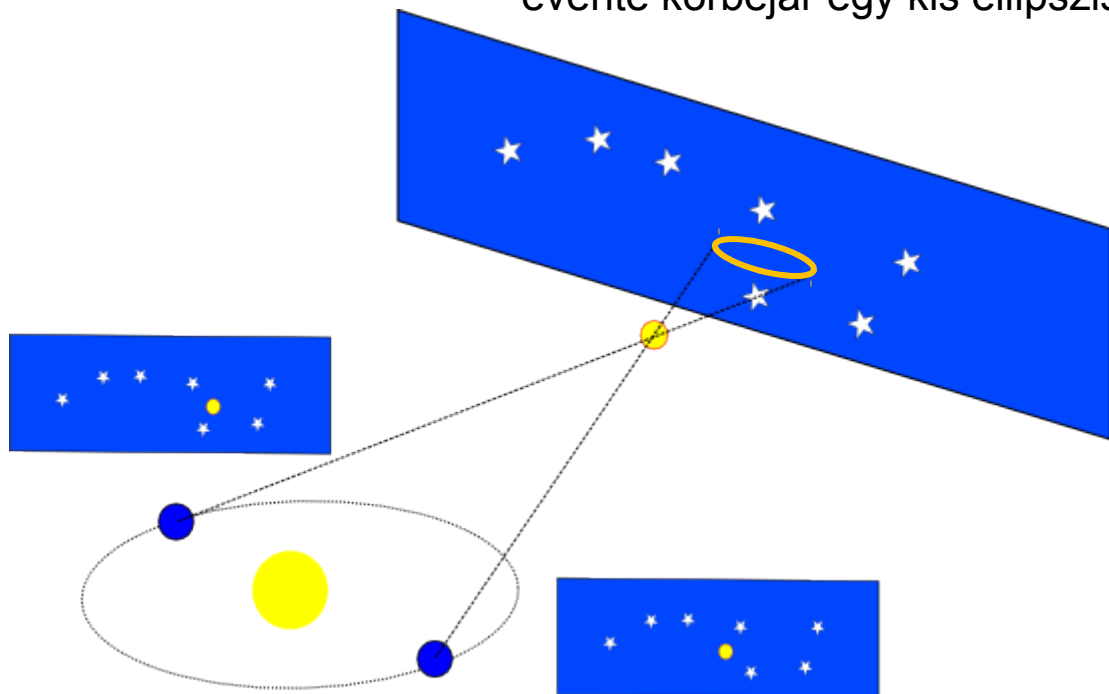
**A világ hirtelen kitágult,  
„csillagászati” távolságokra!**

A legközelebbi csillag  
**negyedmillió CsE-re** van tőlünk!

# PARALLAXIS

Mit látunk?

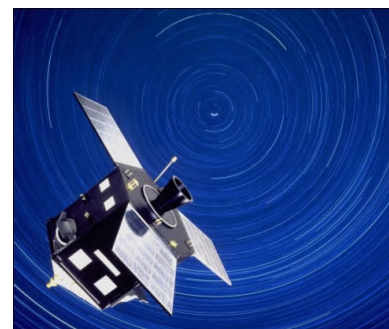
A vizsgált (közele) csillag a háttércsillagokhoz képest elmozdul, évente körbejár egy kis ellipszisen



A Földről legfeljebb  
300 fényévig  
tudunk parallaxist mérni

A Gaia szonda  
kb. 1 milliárd csillag  
parallaxisát méri  
(most is!),  
kb 30 000 fényévig

A Hipparcos szondát  
nem zavarta a légkör:  
1 millió csillag  
parallaxisát mérte meg,  
kb. 3000 fényévig



# De miért csak a **CSILLAGOK** távolságát mérjük?

Van még más is az égen?



mindenféle  
homályos foltok,  
**KÖDÖK**

Messier:  
103 köd katalógusa  
(1758–1782)



Charles Messier  
(1730–1817)

Ma már tudjuk:  
ezek egy része

- csillaghalmaz
- planetáris köd  
(csillag által kifújtt gázfelhő)
- szupernóva-maradvány
- porfelhő
- gázfelhő

a mi  
Tejútunkon  
belüli  
objektum

a többi: **extragalaxis**



## GALAXISOK

pacák az égen: felbontás 1900 körül

az első távolságmeghatározás (Hubble 1925):

cefeidák az Androméda-ködben

Hubble 1925:  
az Androméda-galaxis  
**félmillió fényévre**  
van tőlünk

(a mai adat 2,2 millió fényév)

**A világ a 20. század  
elején ismét  
sokmilliószorosára nőtt!**



Edwin Hubble  
(1889-1953)

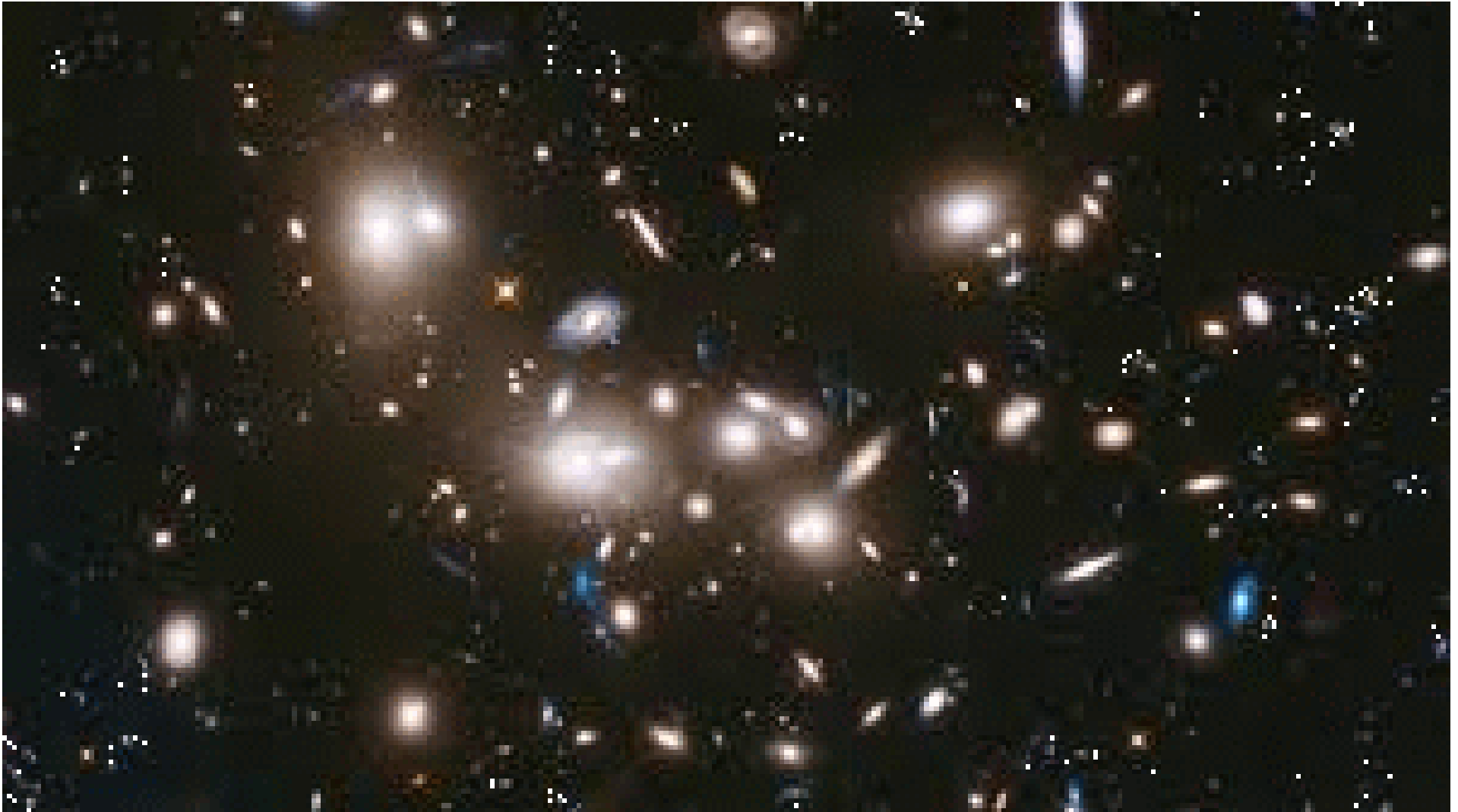


# GALAXISOK

nézzünk messzebb!

felvételek onnan, ahol semmi sincs:

a Hubble Deep Field



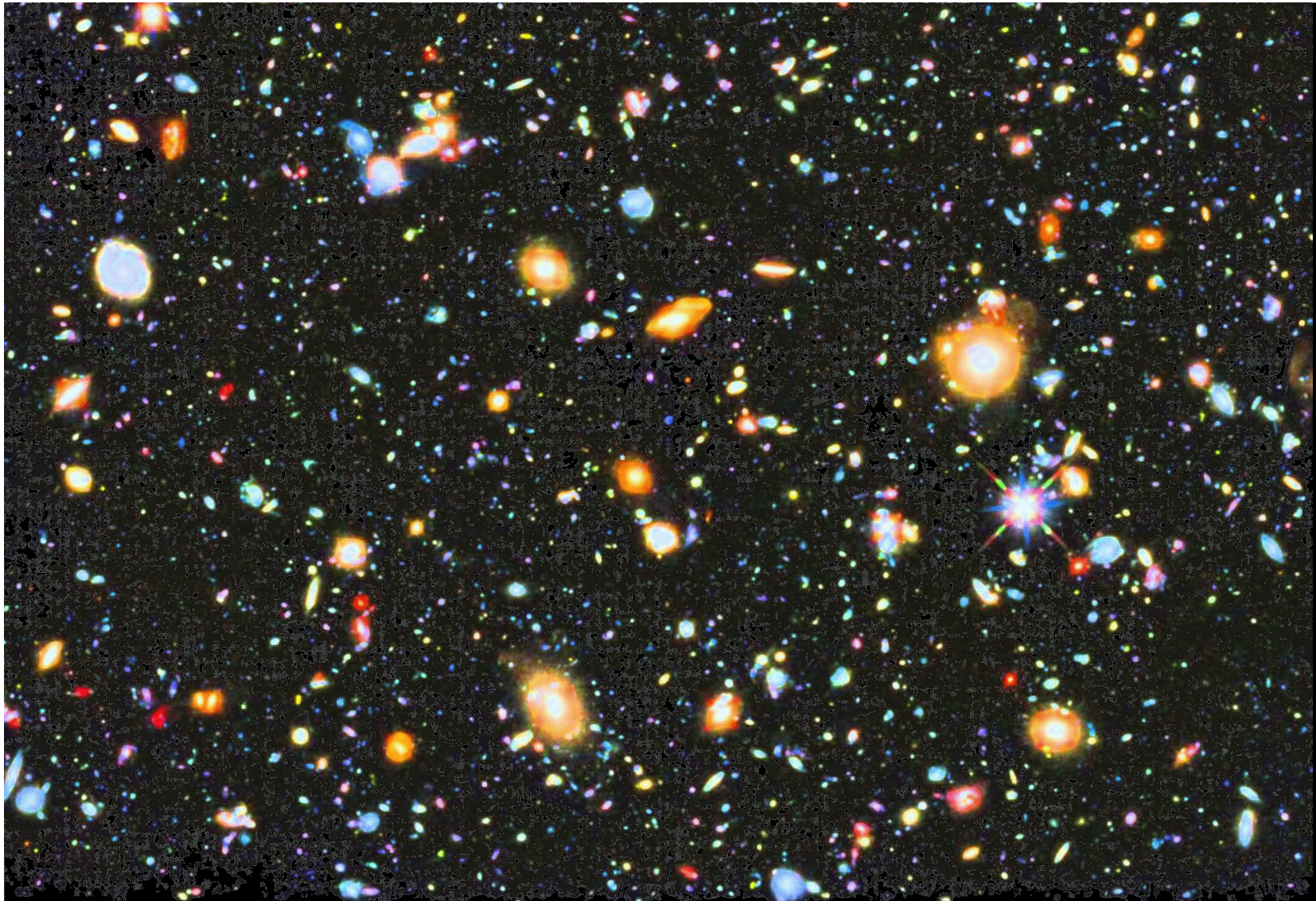


# GALAXISOK

nézzünk messzebb!

felvételek onnan, ahol semmi sincs:

a Hubble Deep Field





## GALAXISOK

nézzünk messzebb!

felvételek onnan, ahol semmi sincs:

a Hubble Deep Field



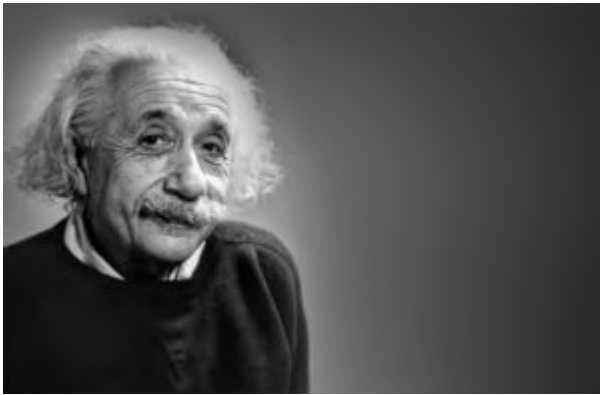
galaxisok milliárdjai  
mindenütt

**Ma már 12 milliárd fényévre  
is ellátunk!**

De a végtelen világ paradoxonjai  
továbbra is fennálltak:

**Állhatnak-e az  
„állógalaxisok?**





Albert Einstein  
(1879-1955)

## Új fizika a 20. század elején

speciális relativitáselmélet: 1905

általános relativitáselmélet: 1915

$$E=mc^2$$



a gravitáció új, pontosabb elmélete

a gravitációs jelenségeket a téridő görbülete magyarázza

Vajon ez az új elmélet megoldja-e a végtelen világegyetemmel kapcsolatos paradoxonokat?

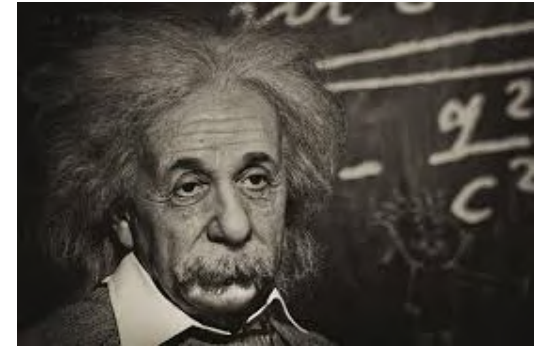
Kijön-e a Bruno-féle végtelen világ, benne a gravitáció ellenére „lebegő” állógalaxisokkal?



Vajon ez az új elmélet megoldja-e a végtelen világegyetemmel kapcsolatos paradoxonokat?

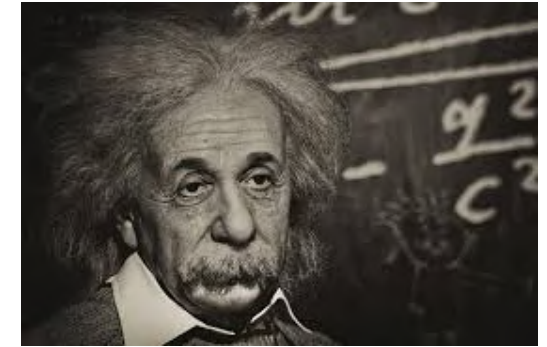
Kijön-e a Bruno-féle végtelen világ, benne a gravitáció ellenére „lebegő” állógalaxisokkal?

**Nem jött ki...**



Vajon ez az új elmélet megoldja-e a végtelen világegyetemmel kapcsolatos paradoxonokat?

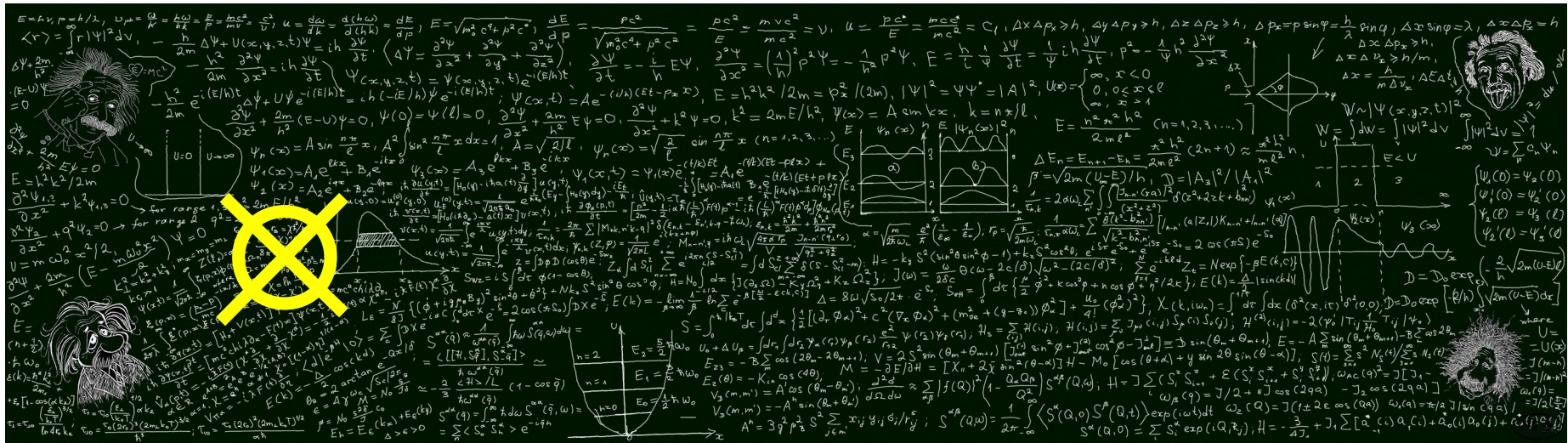
Kijön-e a Bruno-féle végtelen világ, benne a gravitáció ellenére „lebegő” állógalaxisokkal?



Nem jött ki...

Einstein ezért módosította a frissen elkészült egyenleteit (1917):

beleírt az egyenletekbe egy „kozmológiai állandót”.

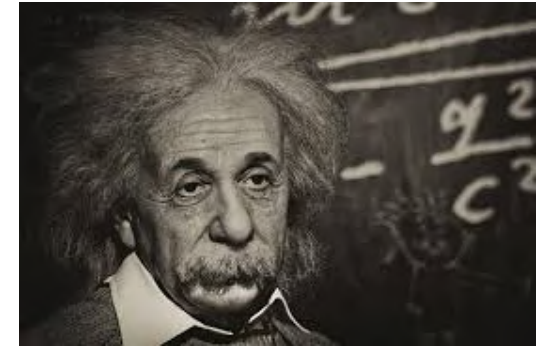




Vajon ez az új elmélet megoldja-e a végtelen világegyetemmel kapcsolatos paradoxonokat?

Kijön-e a Bruno-féle végtelen világ, benne a gravitáció ellenére „lebegő” állógalaxisokkal?

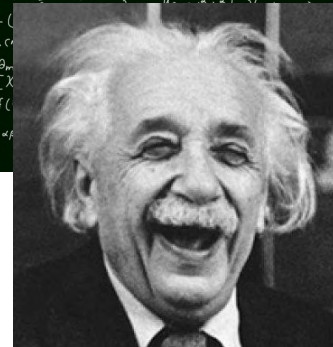
Nem jött ki...



Einstein ezért módosította a frissen elkészült egyenleteit (1917):

beleírt az egyenletekbe egy „kozmológiai állandót”.

A módosított egyenletek már leírták az állandó, sztatikus világot, az állógalaxisokkal





Ez az Einstein-féle sztatikus világ

**VÉGES, de HATÁRTALAN!**

**Olyan, mint a Föld felszíne:**

a felszín területe véges,  
de sehol sincs pereme, határa:

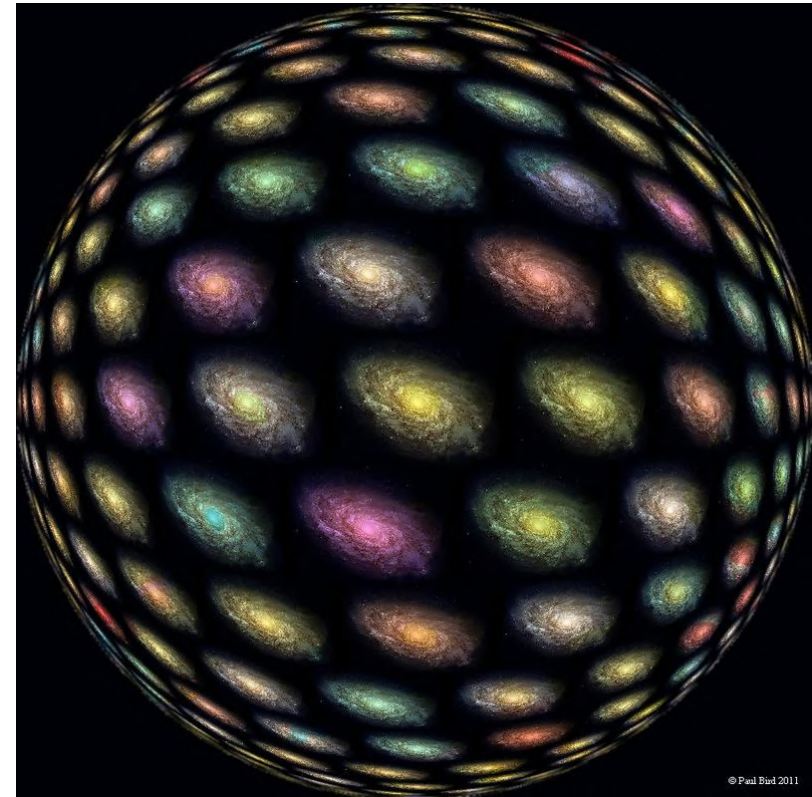
bármerre indulsz, körbeérsz!

**Az Einstein-univerzum**

térfogata véges,

de sehol sincs  
széle, felülete, pereme:

a tér bármelyik irányába indulsz,  
körbeérsz!



Ez az Einstein-féle sztatikus világ

**VÉGES, de HATÁRTALAN!**

**Olyan, mint a Föld felszíne:**

a felszín területe véges,  
de sehol sincs pereme, határa:

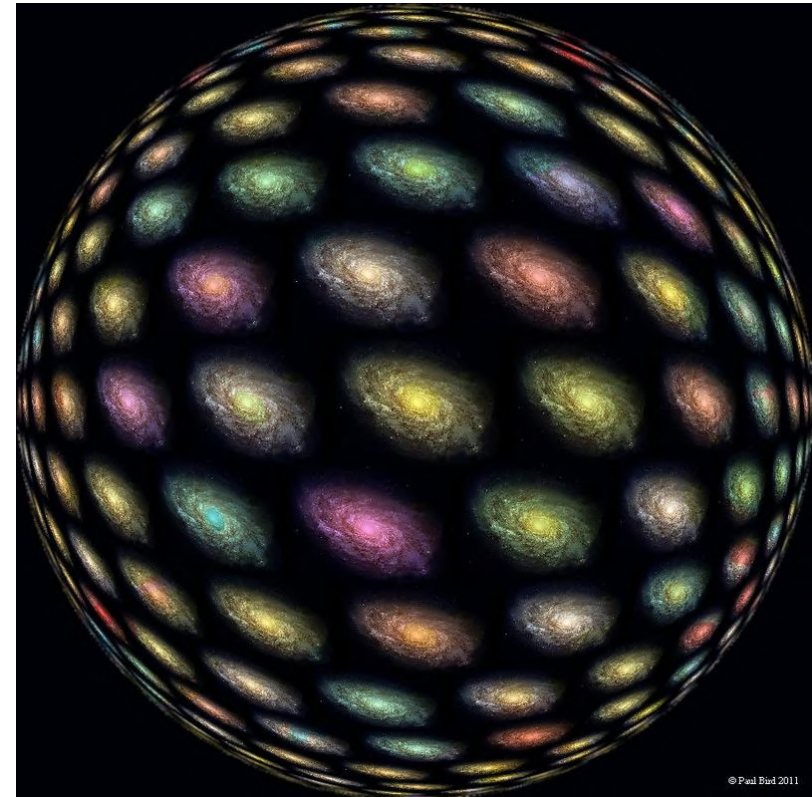
bármerre indulsz, körbeérsz!

**Az Einstein-univerzum**

térfogata véges,

de sehol sincs  
széle, felülete, pereme:

a tér bármelyik irányába indulsz,  
körbeérsz!

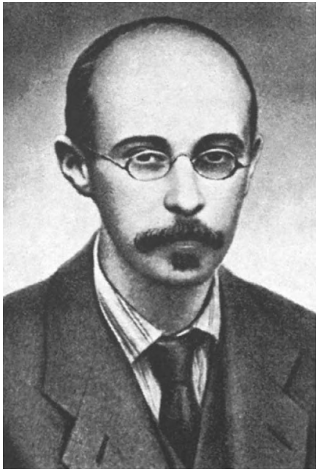


Egy hibája van: éppen olyan **instabil**,  
mint az 1840-es elmélet  
a kozmikus taszítással.

Nem csoda: Einstein módosítása  
épp a kozmikus taszítást vezette be  
a relativitáselméletbe...

De miért is keresünk Bruno-féle állandó univerzumot?

Fridman 1921-ben megoldotta Einstein eredeti egyenleteit, és rájött, hogy az Univerzum nem állandó, hanem **TÁGUL**.

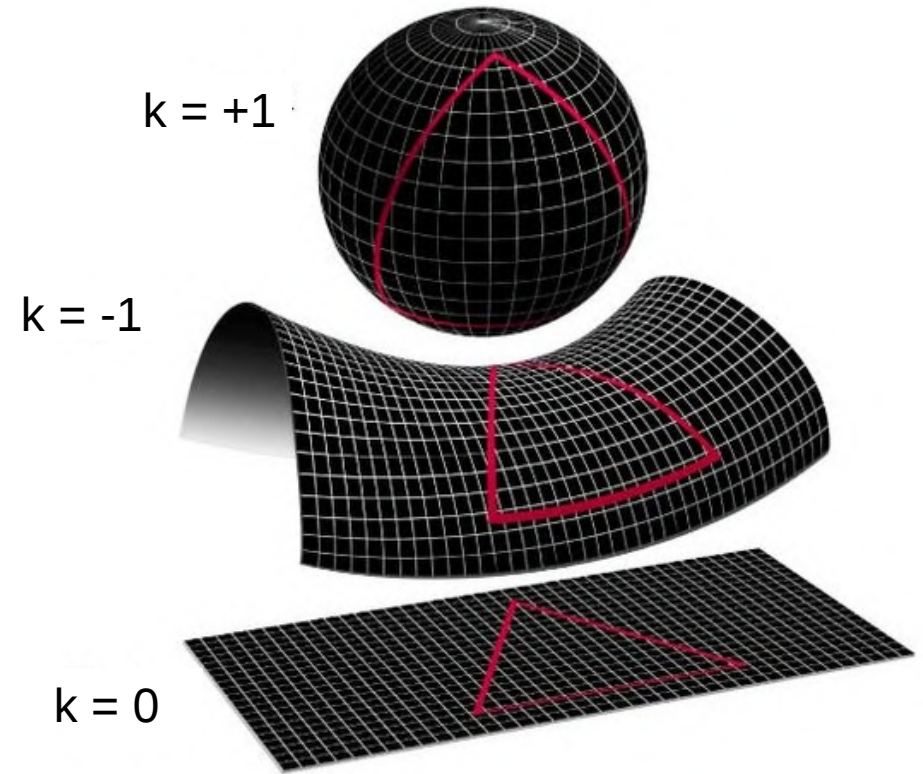
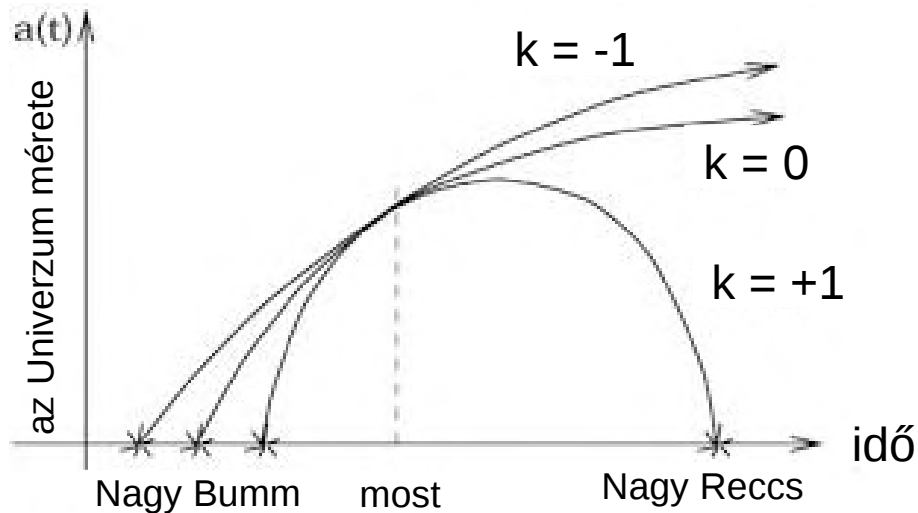


Alekszandr Fridman  
(1888-1925)



Georges Lemaître  
(1894-1966)

Lemaître 1927-ben ismét felfedezte ugyanezt.



A térben véges Fridman-modell időben is véges, a térben végtelen időben is végtelen.

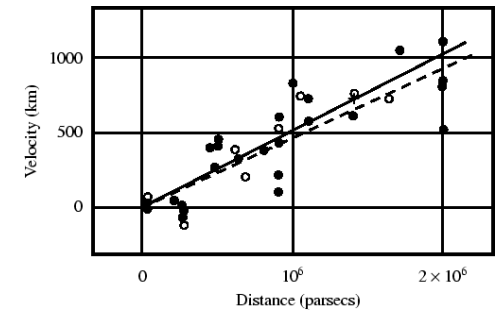




Edwin Hubble  
(1889-1953)

Hubble 1929-ben felfedezte, hogy a galaxisok távolodnak.

azaz az Univerzum tágul





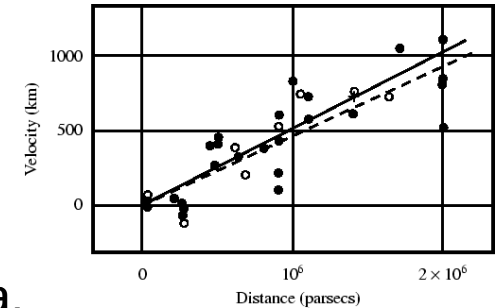


Edwin Hubble  
(1889-1953)

Hubble 1929-ben felfedezte, hogy a galaxisok távolodnak.

azaz az Univerzum tágul

A Bruno-féle sztatikus világmodellnek vége!  
Einstein elismerte, hogy Fridmannak volt igaza.



„Az egyenletek módosítása életem legnagyobb tévedése volt.”  
(Ebben tévedett.)



Einstein, Hubble és a távcső, 1929



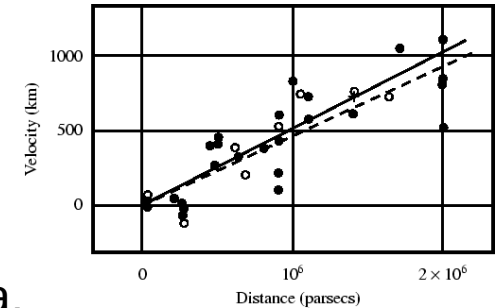
Edwin Hubble  
(1889-1953)

Hubble 1929-ben felfedezte, hogy a galaxisok távolodnak.

azaz az Univerzum tágul

A Bruno-féle sztatikus világmodellnek vége!

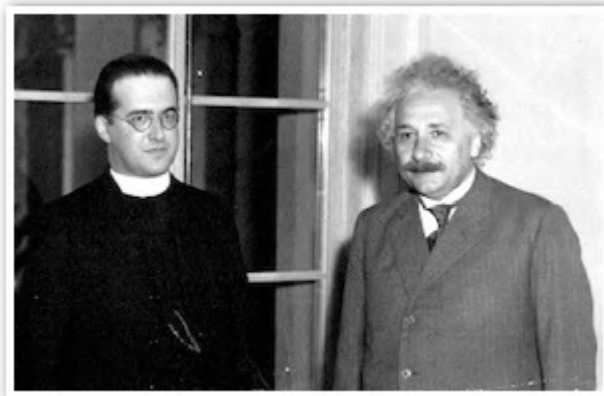
Einstein elismerte, hogy Fridmannak volt igaza.



„Az egyenletek módosítása életem legnagyobb tévedése volt.”  
(Ebben tévedett.)

No de akkor most  
véges vagy  
végtelen az  
Univerzum?

Attól függ, melyik  
Fridman-görbén  
vagyunk!



Einstein és Lemaître

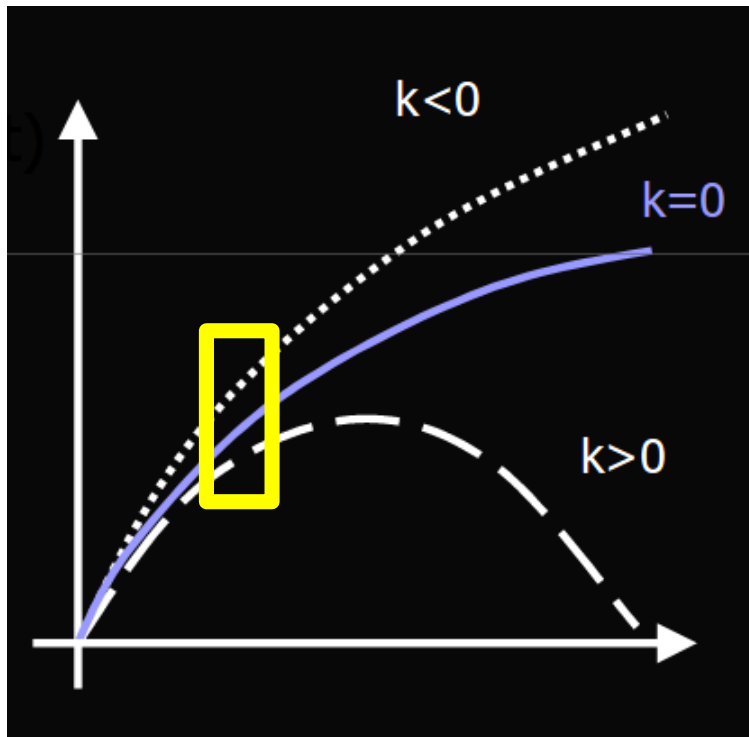
Hogyan lehet eldönteni?

Nagyon pontosan meg kell mérni  
a galaxisok távolságát és sebességét!

Ezzel telt el a következő 70 év.



Einstein, Hubble és a távcső, 1929



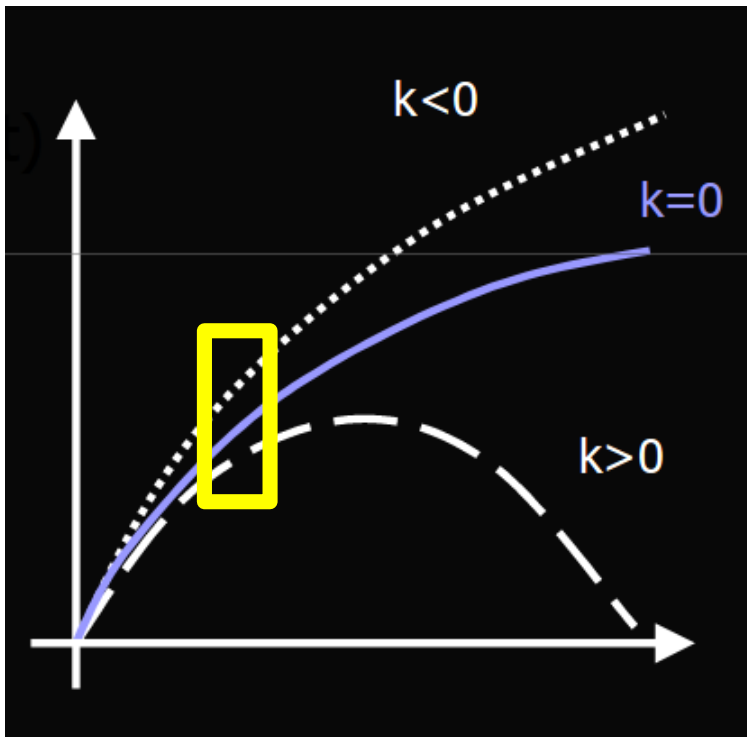
Hogyan lehet eldönteni, hogy melyik Fridman-görbén vagyunk?

Nagyon pontosan meg kell mérni a galaxisok távolságát és sebességét!

De a galaxisok távolságát nagyon nehéz pontosan mérni.

Ezért sokáig nem lehetett eldönteni, hogy véges vagy végtelen-e a világ.





Hogyan lehet eldönteni, hogy melyik Fridman-görbén vagyunk?

Nagyon pontosan meg kell mérni a galaxisok távolságát és sebességét!

De a galaxisok távolságát nagyon nehéz pontosan mérni.

Ezért sokáig nem lehetett eldönteni, hogy véges vagy végtelen-e a világ.

Váratlan fejlemény az 1990-es években:

Einstein tévedett, amikor 1929-ben azt gondolta, hogy tévedett.

A „kozmológiai állandót” igenis bele kell írni az egyenletekbe!

# Einstein legnagyobb tévedése

Az események logikája:

sztatikus (állandó)  
Univerzum

nincs ilyen megoldás

# Einstein legnagyobb tévedése

Az események logikája:



## Einstein legnagyobb tévedése

Az események logikája:

Einstein 1917-ben módosította a frissen elkészült egyenleteit:

sztatikus (állandó)  
Univerzum

nincs ilyen megoldás



## Einstein legnagyobb tévedése

Az események logikája:

Einstein 1917-ben módosította a frissen elkészült egyenleteit:

beleírt az egyenletekbe egy  $\Lambda$  (lambda) „kozmológiai állandót”.

sztatikus (állandó)  
Univerzum

nincs ilyen megoldás

## Einstein legnagyobb tévedése

Az események logikája:

Einstein 1917-ben módosította a frissen elkészült egyenleteit:

beleírt az egyenletekbe egy  $\Lambda$  (lambda) „kozmológiai állandót”.

nincs kozmológiai állandó

$\Lambda = 0$

sztatikus (állandó) Univerzum

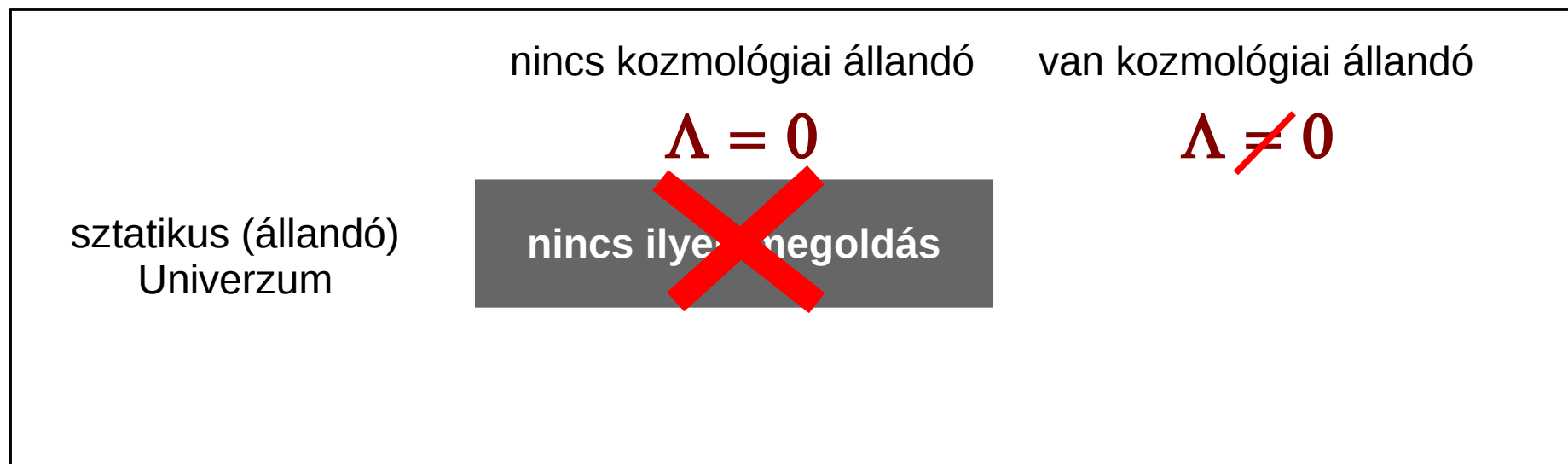
nincs ilyen megoldás

# Einstein legnagyobb tévedése

Az események logikája:

Einstein 1917-ben módosította a frissen elkészült egyenleteit:

beleírt az egyenletekbe egy  $\Lambda$  (lambda) „kozmológiai állandót”.

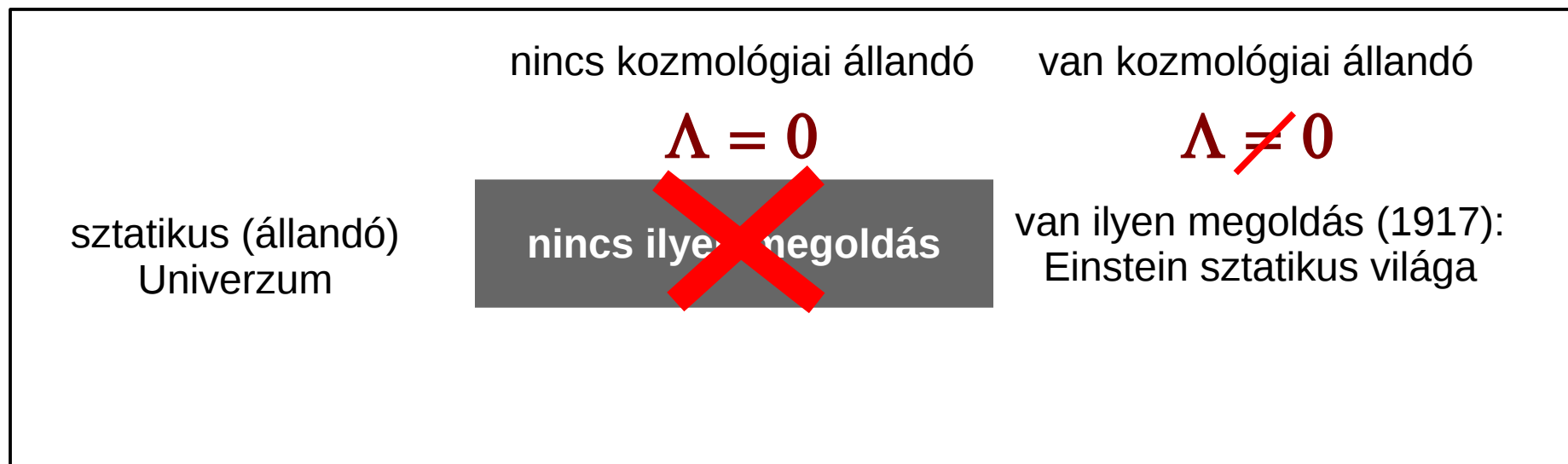


# Einstein legnagyobb tévedése

Az események logikája:

Einstein 1917-ben módosította a frissen elkészült egyenleteit:

beleírt az egyenletekbe egy  $\Lambda$  (lambda) „kozmológiai állandót”.





# Einstein legnagyobb tévedése

Az események logikája:

Einstein 1917-ben módosította a frissen elkészült egyenleteit:

beleírt az egyenletekbe egy  $\Lambda$  (lambda) „kozmológiai állandót”.

	nincs kozmológiai állandó	van kozmológiai állandó
	$\Lambda = 0$	$\Lambda \neq 0$
sztatikus (állandó) Univerzum	nincs ilyen megoldás	van ilyen megoldás (1917): Einstein sztatikus világa

# Einstein legnagyobb tévedése

Az események logikája:

Einstein 1917-ben módosította a frissen elkészült egyenleteit:

beleírt az egyenletekbe egy  $\Lambda$  (lambda) „kozmológiai állandót”.

	nincs kozmológiai állandó	van kozmológiai állandó
	$\Lambda = 0$	$\Lambda \neq 0$
sztatikus (állandó) Univerzum	<del>nincs ilyen megoldás</del>	van ilyen megoldás (1917): Einstein sztatikus világa
	Fridman és Lemaître táguló világa	



# Einstein legnagyobb tévedése

Az események logikája:

Einstein 1917-ben módosította a frissen elkészült egyenleteit:

beleírt az egyenletekbe egy  $\Lambda$  (lambda) „kozmológiai állandót”.

	nincs kozmológiai állandó	van kozmológiai állandó
	$\Lambda = 0$	$\Lambda \neq 0$
sztatikus (állandó) Univerzum	<del>nincs ilyen megoldás</del>	van ilyen megoldás (1917): Einstein sztatikus világa
nem sztatikus (táguló) Univerzum	Fridman és Lemaître táguló világa	



# Einstein legnagyobb tévedése

Az események logikája:

Einstein 1917-ben módosította a frissen elkészült egyenleteit:

beleírt az egyenletekbe egy  $\Lambda$  (lambda) „kozmológiai állandót”.

	nincs kozmológiai állandó	van kozmológiai állandó
	$\Lambda = 0$	$\Lambda \neq 0$
sztatikus (állandó) Univerzum	nincs ilyen megoldás	van ilyen megoldás (1917): Einstein sztatikus világa
nem sztatikus (táguló) Univerzum	Fridman és Lemaître táguló világa	





# Einstein legnagyobb tévedése

Az események logikája:

Einstein 1917-ben módosította a frissen elkészült egyenleteit:

beleírt az egyenletekbe egy  $\Lambda$  (lambda) „kozmológiai állandót”.

	nincs kozmológiai állandó	van kozmológiai állandó
	$\Lambda = 0$	$\Lambda \neq 0$
sztatikus (állandó) Univerzum	<del>nincs ilyen megoldás</del>	van ilyen megoldás (1917): Einstein sztatikus világa
<del>nem sztatikus (táguló) Univerzum</del>	<del>Fridman és Lemaître táguló világa</del>	

# Einstein legnagyobb tévedése

Az események logikája:

Einstein 1917-ben módosította a frissen elkészült egyenleteit:

beleírt az egyenletekbe egy  $\Lambda$  (lambda) „kozmológiai állandót”.

	nincs kozmológiai állandó	van kozmológiai állandó
	$\Lambda = 0$	$\Lambda \neq 0$
sztatikus (állandó) Univerzum	<del>nincs ilyen megoldás</del>	van ilyen megoldás (1917): Einstein sztatikus világa
<del>nem sztatikus (táguló) Univerzum</del>	<del>Fridman és Lemaître táguló világa</del>	

1929-ben kiderült, hogy az Univerzum nem sztatikus, hanem tágul

## Einstein legnagyobb tévedése

Az események logikája:

Einstein 1917-ben módosította a frissen elkészült egyenleteit:

beleírt az egyenletekbe egy  $\Lambda$  (lambda) „kozmológiai állandót”.

	nincs kozmológiai állandó	van kozmológiai állandó
	$\Lambda = 0$	$\Lambda \neq 0$
<del>sztatikus (állandó) Univerzum</del>	<del>nincs ilyen megoldás</del>	van ilyen megoldás (1917): Einstein sztatikus világa
nem sztatikus (táguló) Univerzum	Fridman és Lemaître táguló világa	

1929-ben kiderült, hogy az Univerzum nem sztatikus, hanem tágul

## Einstein legnagyobb tévedése

Az események logikája:

Einstein 1917-ben módosította a frissen elkészült egyenleteit:

beleírt az egyenletekbe egy  $\Lambda$  (lambda) „kozmológiai állandót”.

	nincs kozmológiai állandó	van kozmológiai állandó
	$\Lambda = 0$	$\Lambda \neq 0$
<del>sztatikus (állandó) Univerzum</del>	<del>nincs ilyen megoldás</del>	van ilyen megoldás (1917): Einstein sztatikus világa
nem sztatikus (táguló) Univerzum	Fridman és Lemaître táguló világa	

1929-ben kiderült, hogy az Univerzum nem sztatikus, hanem tágul

Einstein eldobta a kozmológiai állandót



# Einstein legnagyobb tévedése

Az események logikája:

Einstein 1917-ben módosította a frissen elkészült egyenleteit:

beleírt az egyenletekbe egy  $\Lambda$  (lambda) „kozmológiai állandót”.

	nincs kozmológiai állandó	van kozmológiai állandó
<del>sztatikus (állandó) Univerzum</del>	$\Lambda = 0$ <del>nincs ilyen megoldás</del>	$\Lambda \neq 0$ van ilyen megoldás (1917): <del>Einstein sztatikus világa</del>
nem sztatikus (táguló) Univerzum	Fridman és Lemaître táguló világa	

1929-ben kiderült, hogy az Univerzum nem sztatikus, hanem tágul

Einstein eldobta a kozmológiai állandót

## Einstein legnagyobb tévedése

Az események logikája:

Einstein 1917-ben módosította a frissen elkészült egyenleteit:

beleírt az egyenletekbe egy  $\Lambda$  (lambda) „kozmológiai állandót”.

	nincs kozmológiai állandó	van kozmológiai állandó
<del>sztatikus (állandó) Univerzum</del>	$\Lambda = 0$ <del>nincs ilyen megoldás</del>	$\Lambda \neq 0$ van ilyen megoldás (1917): Einstein sztatikus világa
nem sztatikus (táguló) Univerzum	Fridman és Lemaître táguló világa	<del></del>

1929-ben kiderült, hogy az Univerzum nem sztatikus, hanem tágul

Einstein eldobta a kozmológiai állandót

1990 után kiderült, hogy nem kellett volna eldobnia:

# Einstein legnagyobb tévedése

Az események logikája:

Einstein 1917-ben módosította a frissen elkészült egyenleteit:

beleírt az egyenletekbe egy  $\Lambda$  (lambda) „kozmológiai állandót”.

	nincs kozmológiai állandó	van kozmológiai állandó
<del>sztatikus (állandó) Univerzum</del>	$\Lambda = 0$ <del>nincs ilyen megoldás</del>	$\Lambda \neq 0$ <del>van ilyen megoldás (1917): Einstein sztatikus világa</del>
nem sztatikus (táguló) Univerzum	Fridman és Lemaître táguló világa	????????????????

1929-ben kiderült, hogy az Univerzum nem sztatikus, hanem tágul

Einstein eldobta a kozmológiai állandót

1990 után kiderült, hogy nem kellett volna eldobnia:

# Einstein legnagyobb tévedése

Az események logikája:

Einstein 1917-ben módosította a frissen elkészült egyenleteit:

beleírt az egyenletekbe egy  $\Lambda$  (lambda) „kozmológiai állandót”.

	nincs kozmológiai állandó	van kozmológiai állandó
<del>sztatikus (állandó) Univerzum</del>	<del><math>\Lambda = 0</math> nincs ilyen megoldás</del>	<del>van ilyen megoldás (1917): Einstein sztatikus világa</del>
nem sztatikus (táguló) Univerzum	Fridman és Lemaître táguló világa	????????????????

1929-ben kiderült, hogy az Univerzum nem sztatikus, hanem tágul

Einstein eldobta a kozmológiai állandót

1990 után kiderült, hogy nem kellett volna eldobnia:

**Az igazság  
a negyedik kockában van!**



# Einstein legnagyobb tévedése

Az események logikája:

Einstein 1917-ben módosította a frissen elkészült egyenleteit:

beleírt az egyenletekbe egy  $\Lambda$  (lambda) „kozmológiai állandót”.

	nincs kozmológiai állandó	van kozmológiai állandó
<del>sztatikus (állandó) Univerzum</del>	$\Lambda = 0$ <del>nincs ilyen megoldás</del>	$\Lambda \neq 0$ <del>van ilyen megoldás (1917): Einstein sztatikus világa</del>
nem sztatikus (táguló) Univerzum	Fridman és Lemaître táguló világa	<b>Az igazság a negyedik kockában van!</b>

1929-ben kiderült, hogy az Univerzum nem sztatikus, hanem tágul

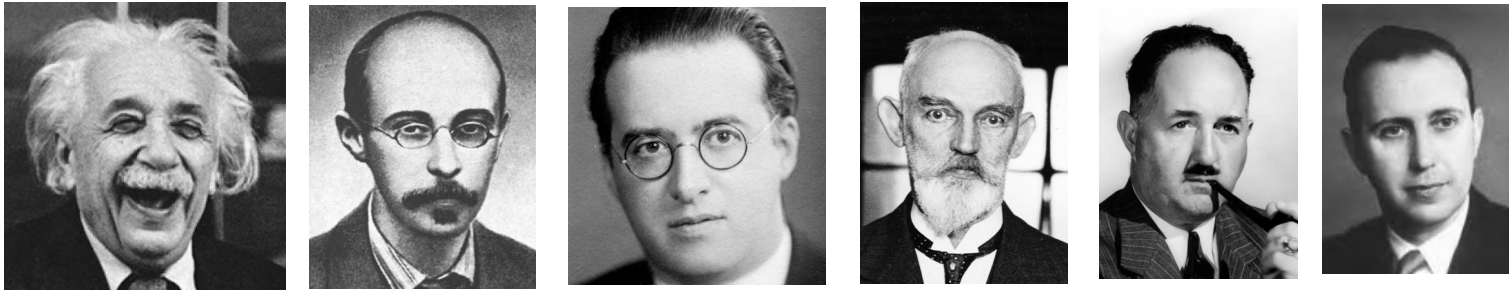
Einstein eldobta a kozmológiai állandót

1990 után kiderült, hogy nem kellett volna eldobnia:

**Az igazság a negyedik kockában van!**

## A modern kozmológia modellcsaládja

Einstein – Fridman – Lemaitre – de Sitter – Robertson – Walker



Az Univerzum tágul, ennek **jelenlegi** sebességét a **H** Hubble-állandó jellemzi (ez pozitív).

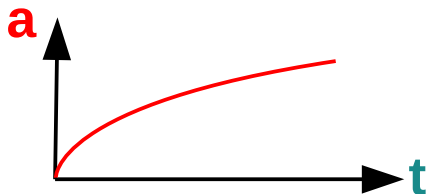
A másik jellemző paraméter a  **$\Lambda$**  kozmológiai állandó, ez lehet pozitív, negatív vagy 0.

(A harmadik adat az anyag sűrűsége, ezt adott állandónak tekintjük)

A két paraméter minden értékéhez tartozik Einstein gravitációs egyenleteinek egy megoldása:

**az Univerzum tágulásának egy lehetséges forgatókönyve:**

az Univerzum **a** mérete  
a **t** idő függvényében:



Az egyenletek megoldása és a lehetséges görbék felrajzolása  
**matematikai feladat.**

A lehetséges görbék közti választás **fizikai megfontolások**  
és **csillagászati megfigyelések** alapján lehetséges.

## Fridman-modellek

Fridman egyenlete PONTOSAN megegyezik a Földről feldobott kő mozgását leíró egyenlettel. Ezért a mozgás időbeli lefutását leíró görbék is azonosak.

Az általános relativitáselmélet emellett a tér görbületét is megadja.

A modell különböző verzióit  
megkülönböztető paraméter  
a tágulás jelenlegi sebességét jellemző **H**  
Hubble-állandó

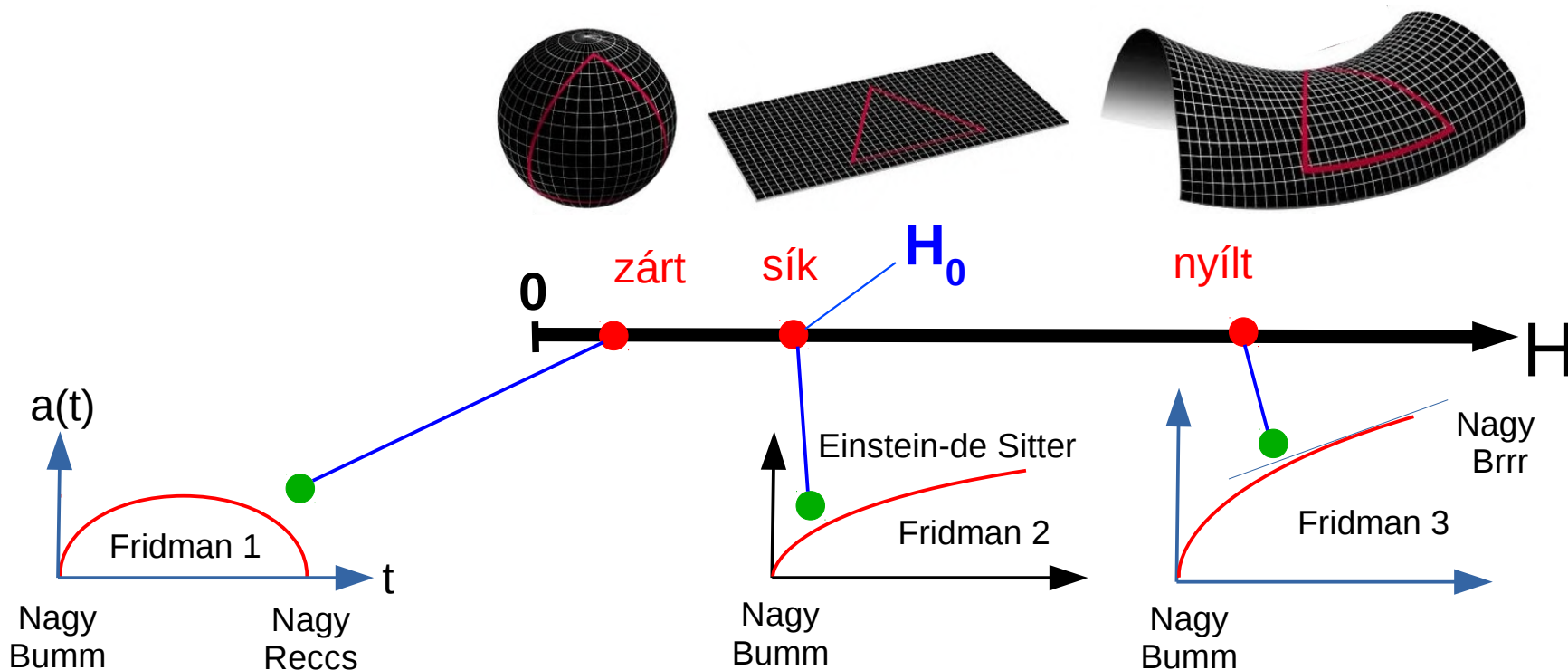
# Fridman-modellek

Fridman egyenlete PONTOSAN megegyezik a Földről feldobott kő mozgását leíró egyenlettel. Ezért a mozgás időbeli lefutását leíró görbék is azonosak.

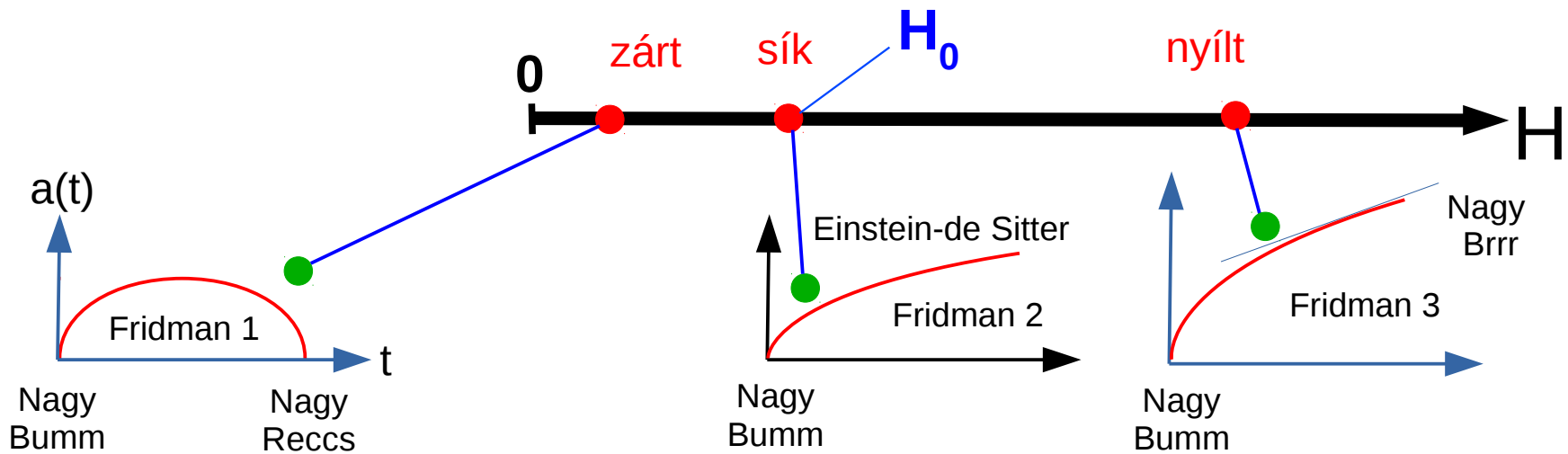
Az általános relativitáselmélet emellett a tér görbületét is megadja.

A modell különböző verzióit megkülönböztető paraméter a tágulás jelenlegi sebességét jellemző  $H$  Hubble-állandó

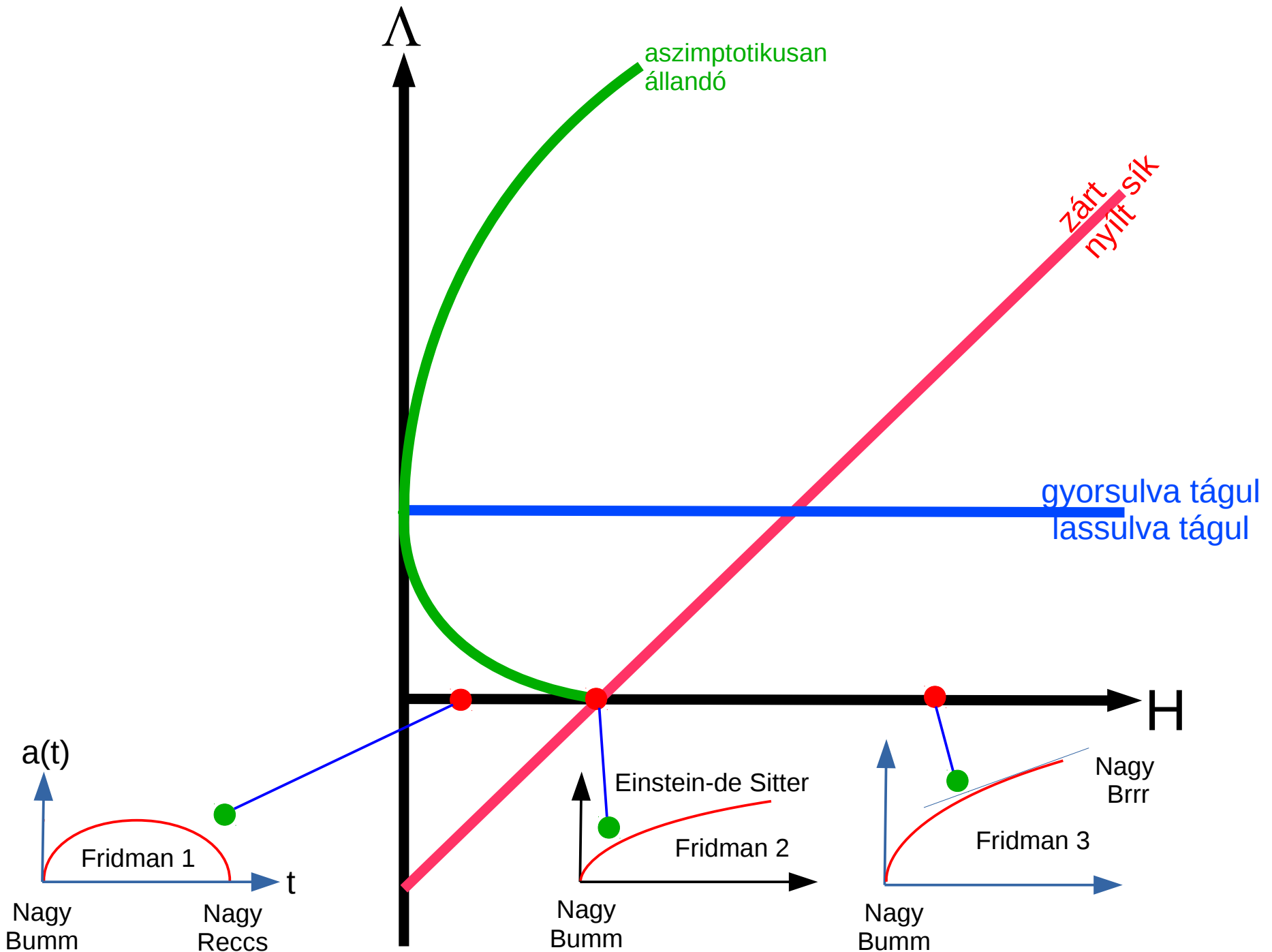
A térben véges Fridman-modell időben is véges, a térben végtelen időben is végtelen.



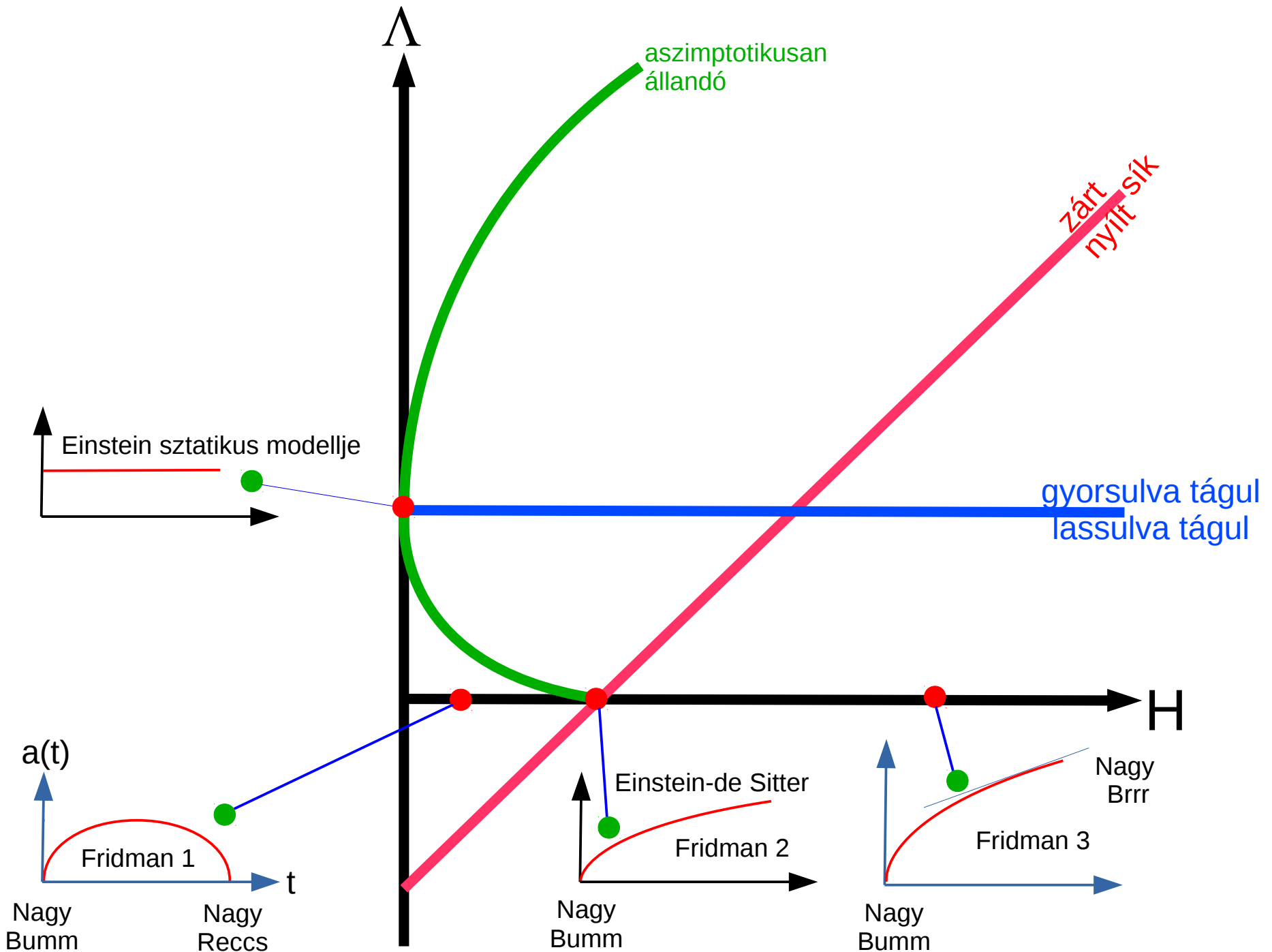




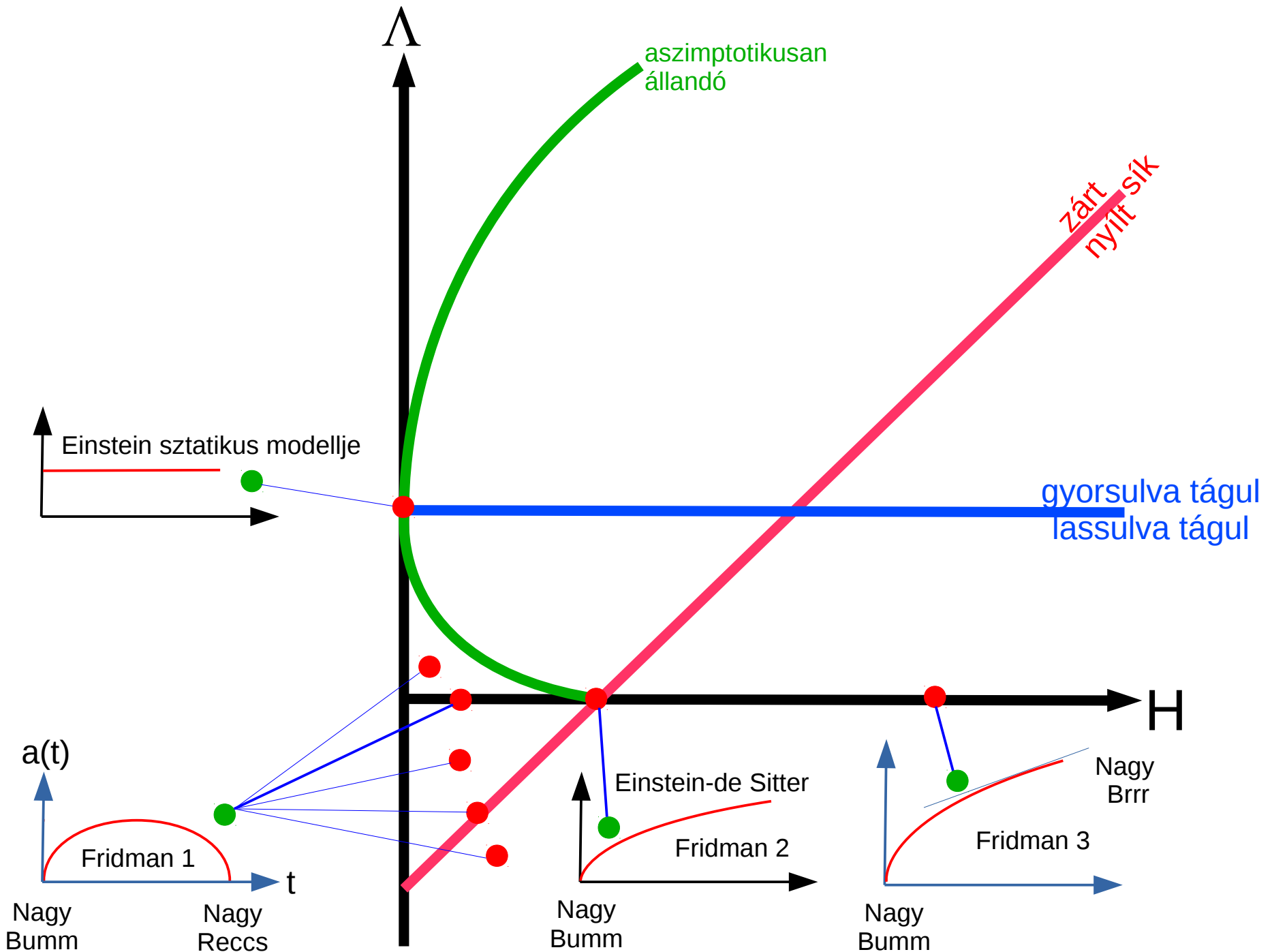
**Einstein–Fridman–Lemaître–de Sitter–Robertson–Walker  
kozmológiai modellcsalád**



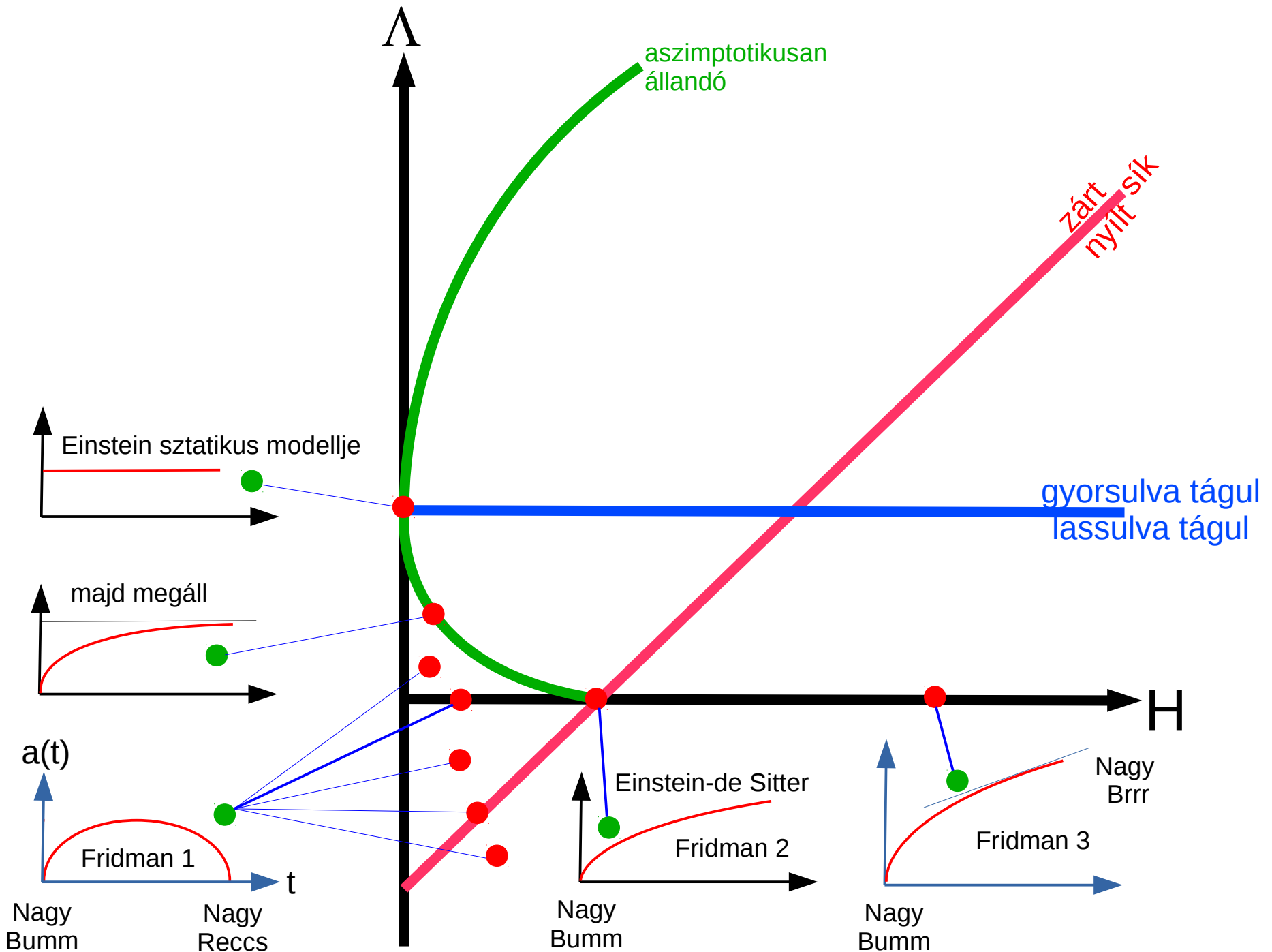
**Einstein-Fridman-Lemaître-de Sitter-Robertson-Walker  
kozmológiai modellcsalád**



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

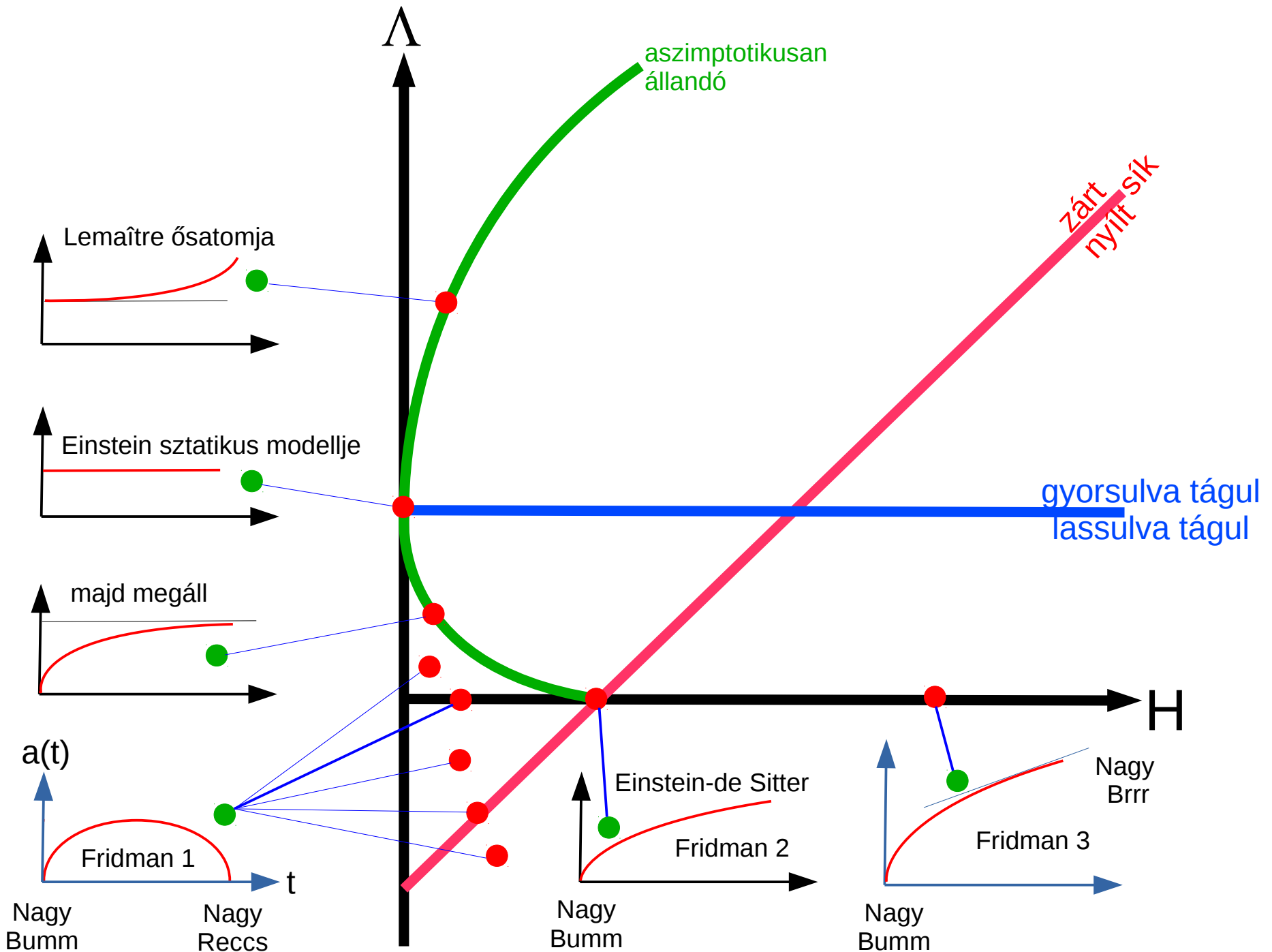


**Einstein-Fridman-Lemaître-de Sitter-Robertson-Walker  
kozmológiai modellcsalád**

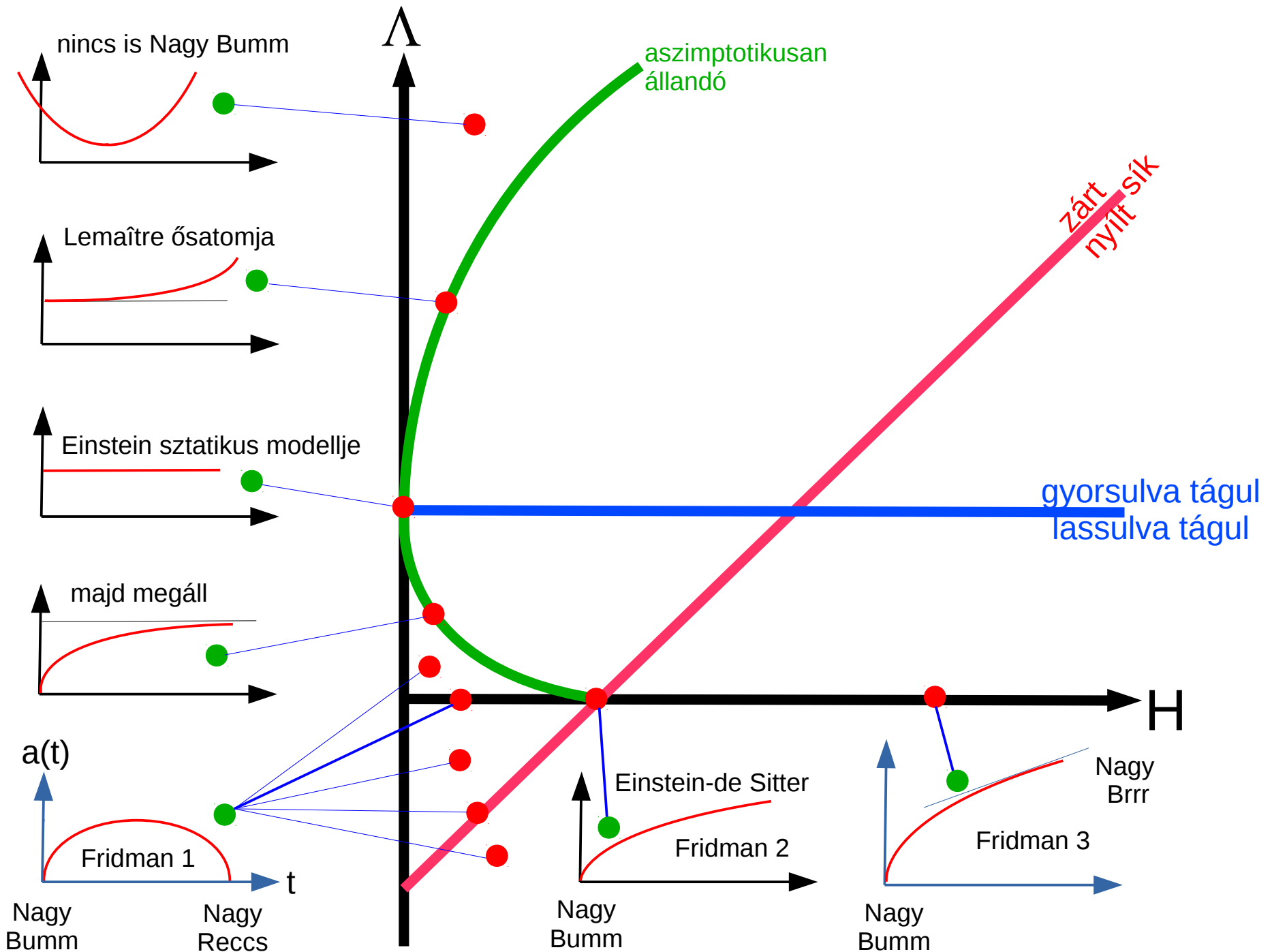




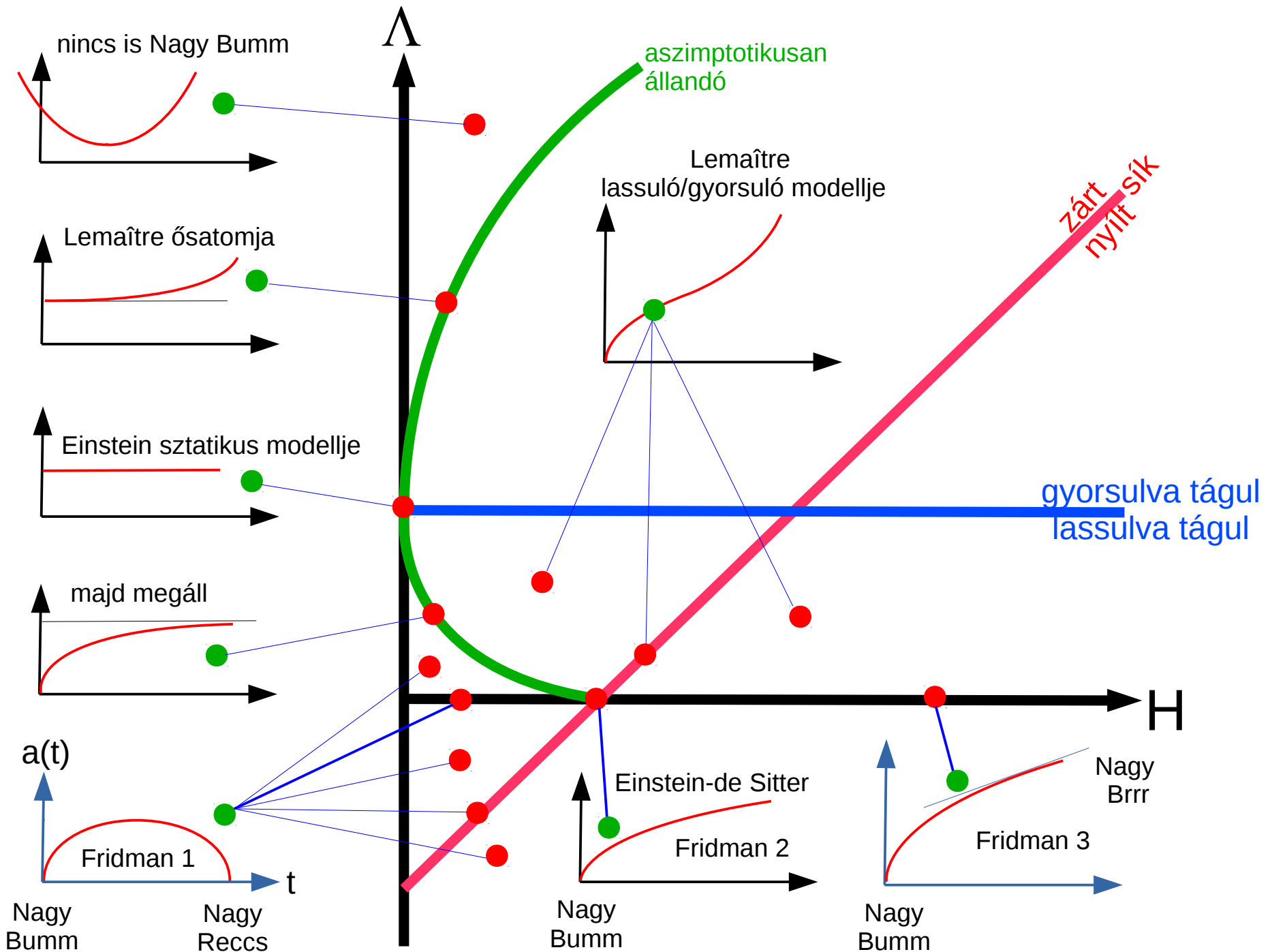
**Einstein-Fridman-Lemaître-de Sitter-Robertson-Walker  
kozmológiai modellcsalád**



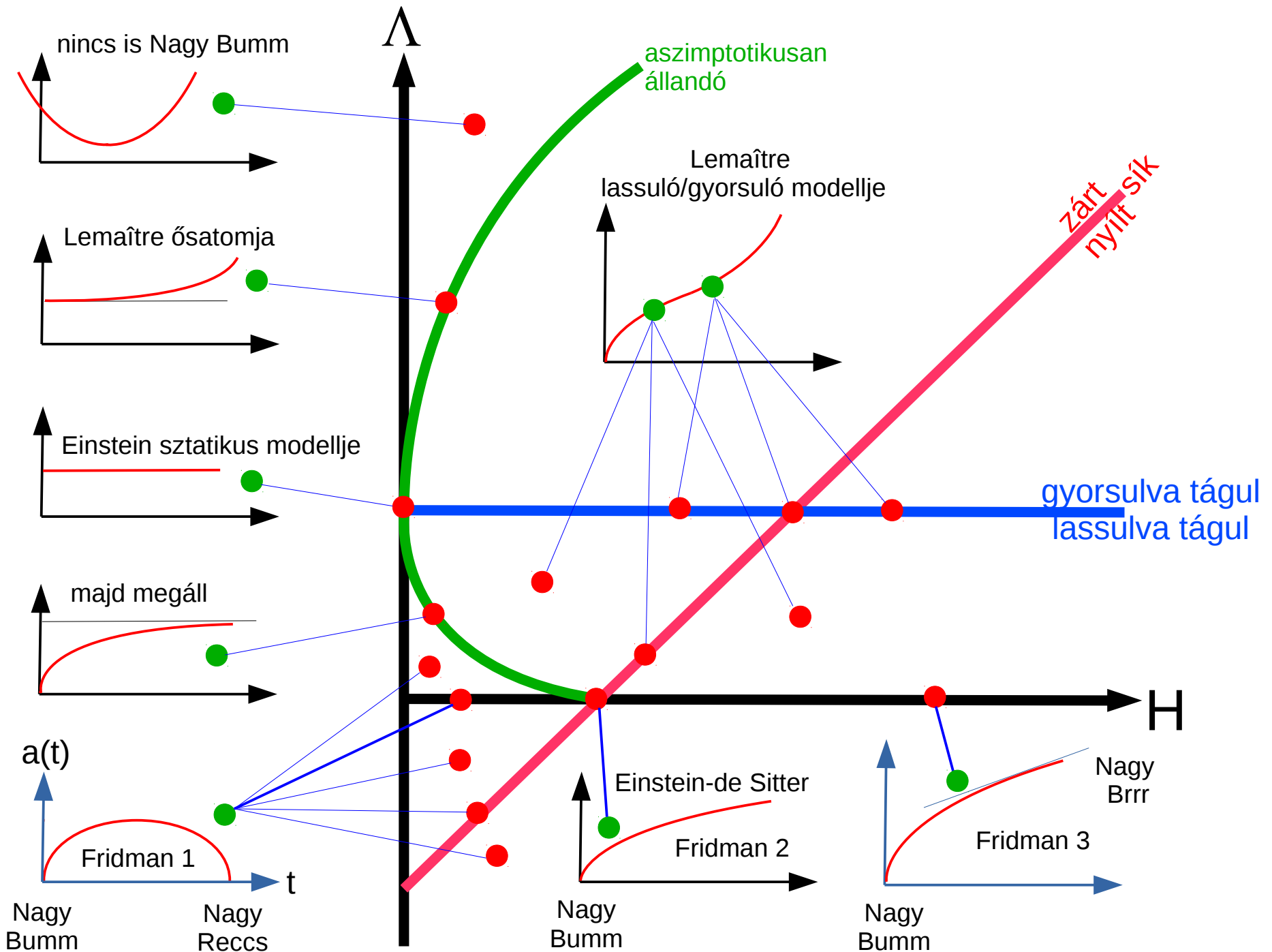
**Einstein-Fridman-Lemaître-de Sitter-Robertson-Walker  
kozmológiai modellcsalád**



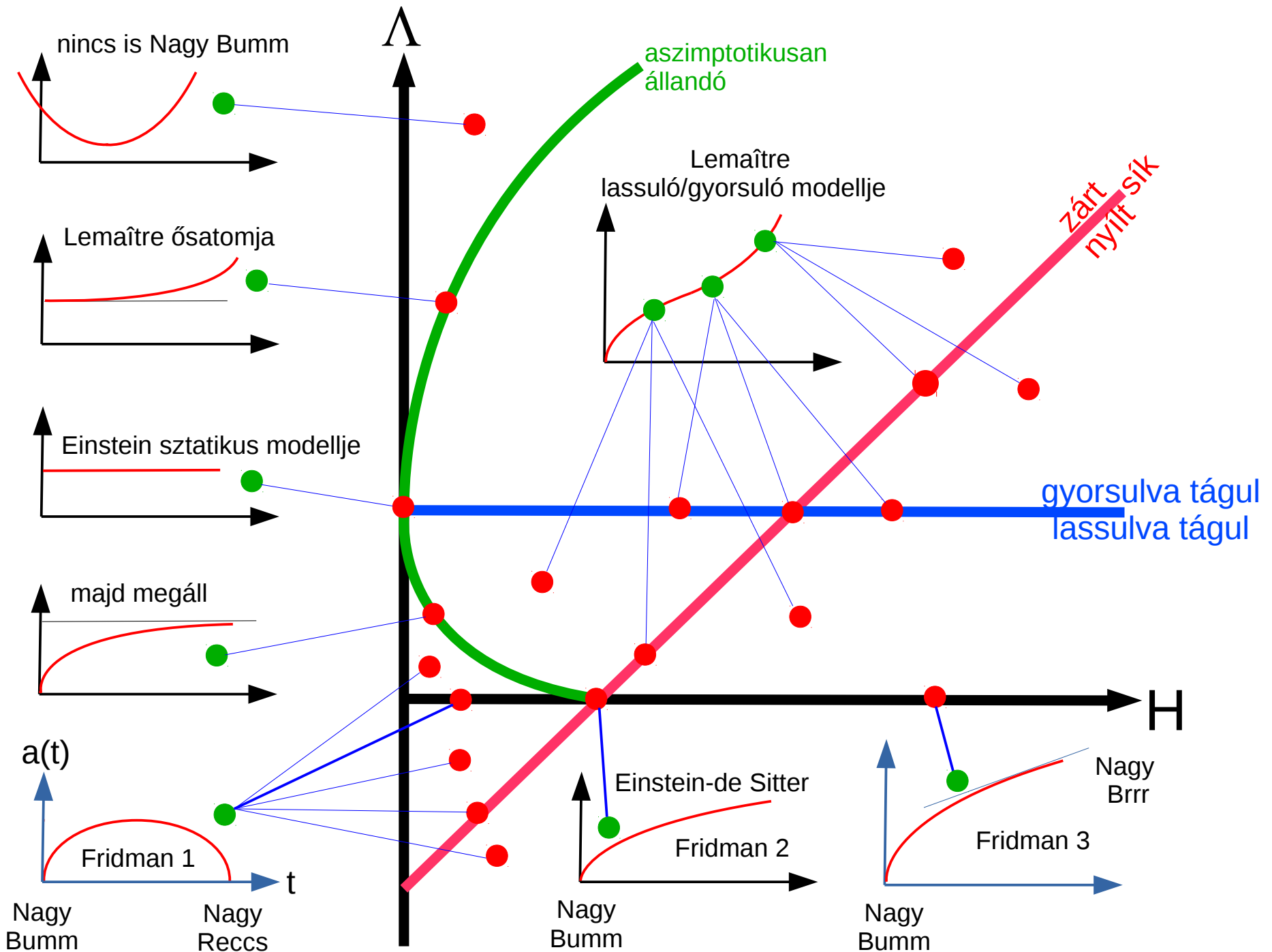
**Einstein–Fridman–Lemaître–de Sitter–Robertson–Walker  
kozmológiai modellcsalád**



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

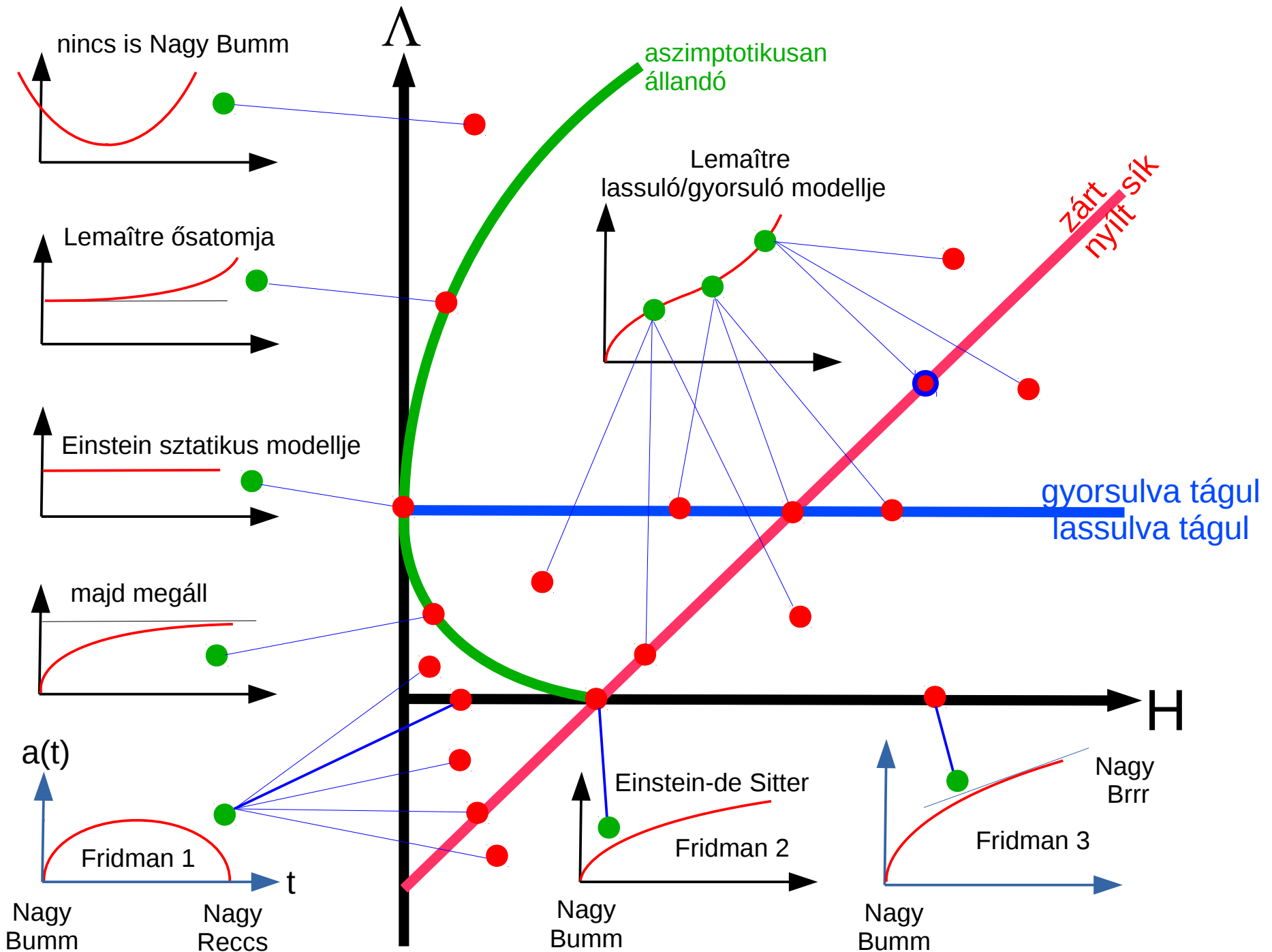


**Einstein–Fridman–Lemaître–de Sitter–Robertson–Walker  
kozmológiai modellcsalád**





**Einstein-Fridman-Lemaître-de Sitter-Robertson-Walker  
kozmológiai modellcsalád**



## Hogyan tudunk választani a sokféle kozmológiai forgatókönyv közül?

Csillagászati megfigyelésekkel!

A tágulás emberi léptékkal túl lassú, ráadásul csak egy pillanatát látjuk.

Ezért az anyag kozmikus méretű eloszlását kell vizsgálni.

Az Univerzum nem egy üres, táguló tartály:

a tágulás üteme és a tér görbülete befolyásolja  
a Világegyetemet kitöltő anyag mozgását és eloszlását

- a galaxisok eloszlásának struktúráját
- a háttérsugárzás parányi ingadozásait (fluktuációit)
- a térben terjedő fény irányát, szétszóródását és gyengülését

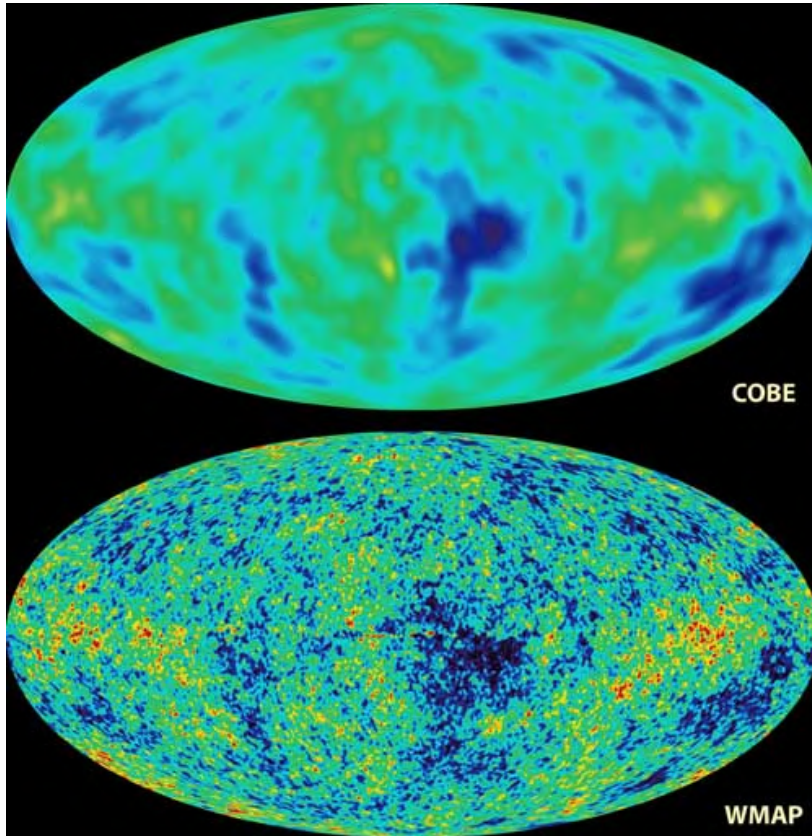
### Precíziós kozmológia, 1990-2020

Három független csillagászati mérés:

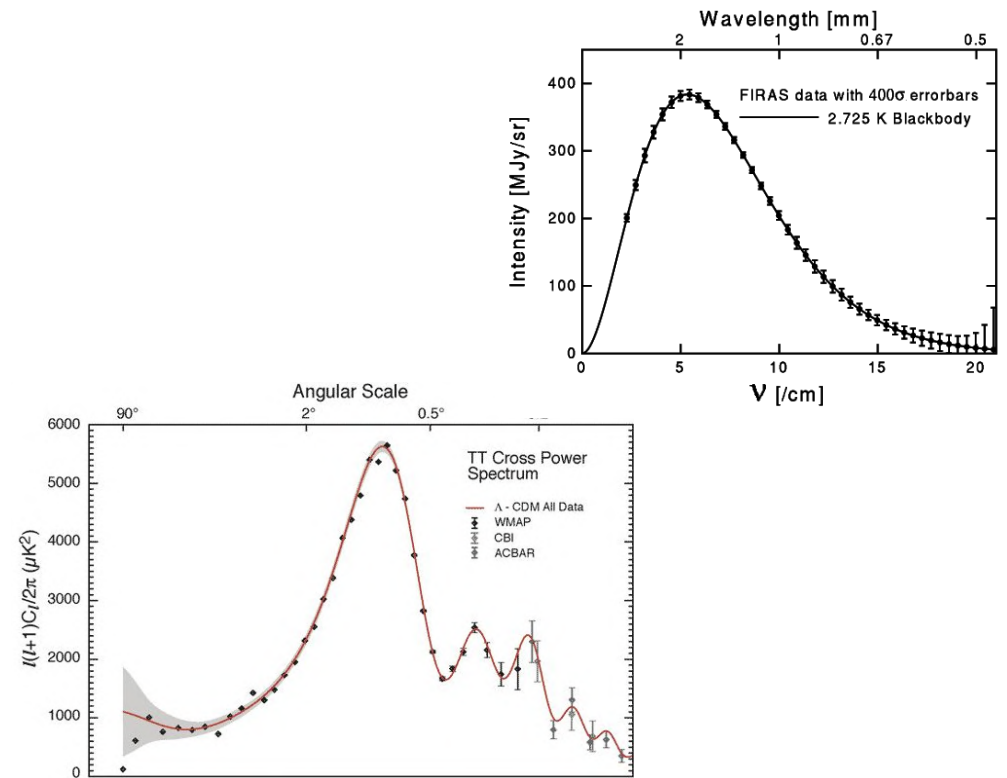
**Külön-külön is jelentősek,  
de együtt lehetővé tették  
az Univerzum adatainak  
1 % pontosságú mérését!**

# Precíziós kozmológia, 1990-2020

## A kozmikus háttérsugárzás eloszlása



a háttérsugárzás fluktuációja  
a COBE (1990) és a WMAP (2000)  
szonda mérései alapján



2006. évi fizikai Nobel-díj

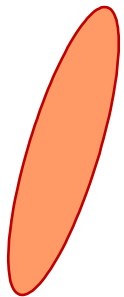


J. C. Mather

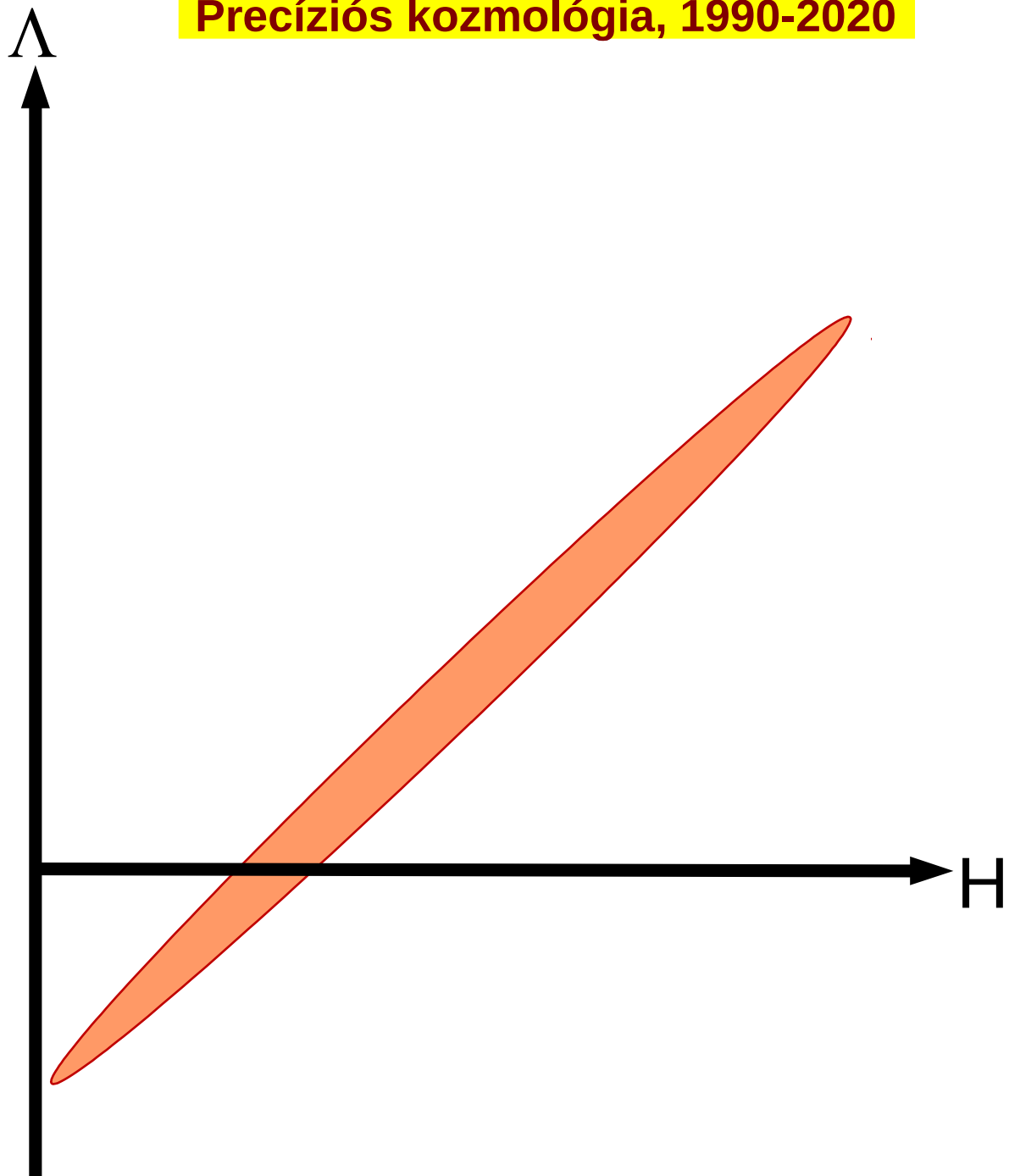


G. F. Smoot

Három független csillagászati mérés:

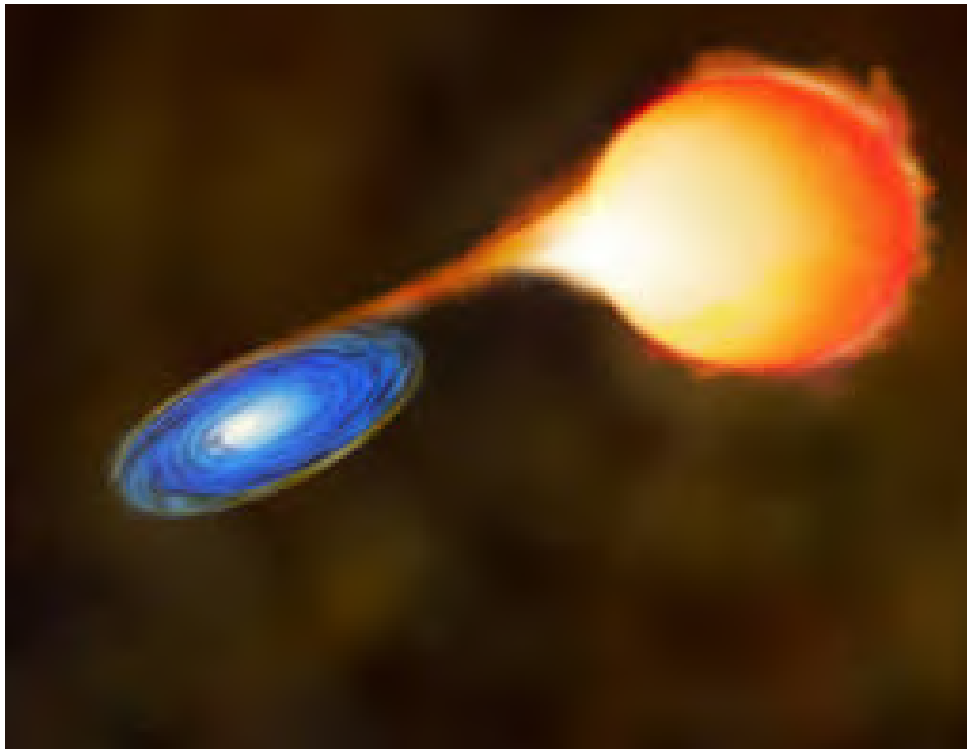


A háttérsugárzás fluktuációja által megengedett értékek



## Precíziós kozmológia, 1990-2020

Három független csillagászati mérés:



távoli szupernóvák  
fényességének mérése

2011. évi fizikai Nobel-díj



S. Perlmutter

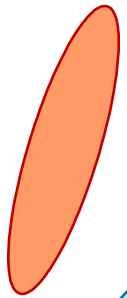


B. P. Schmidt

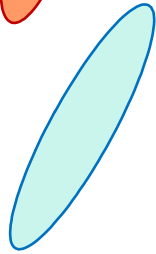


A. G. Riess

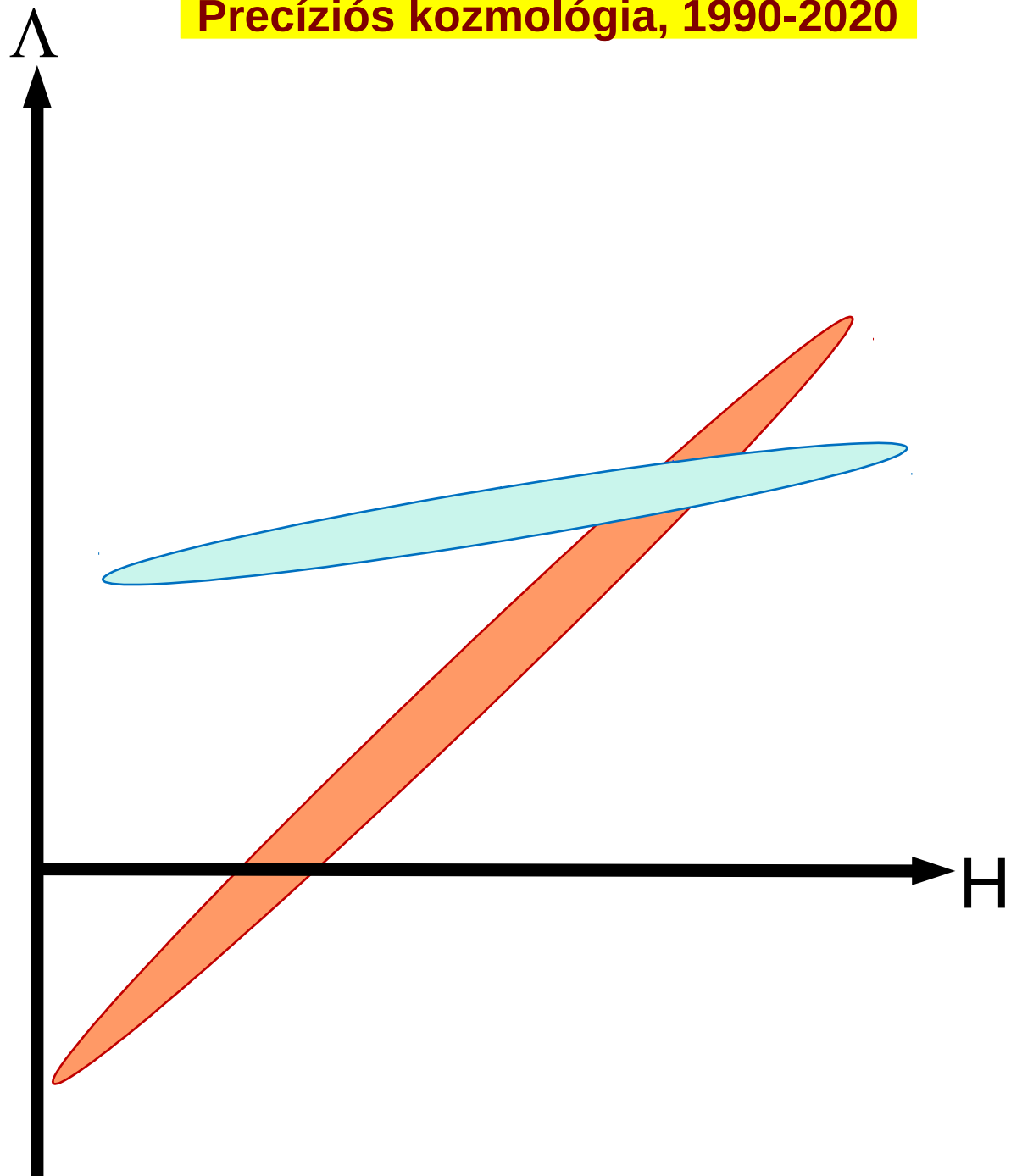
Három független csillagászati mérés:



A háttérsugárzás fluktuációja által megengedett értékek



A távoli szupernóvák fényessége által megengedett értékek

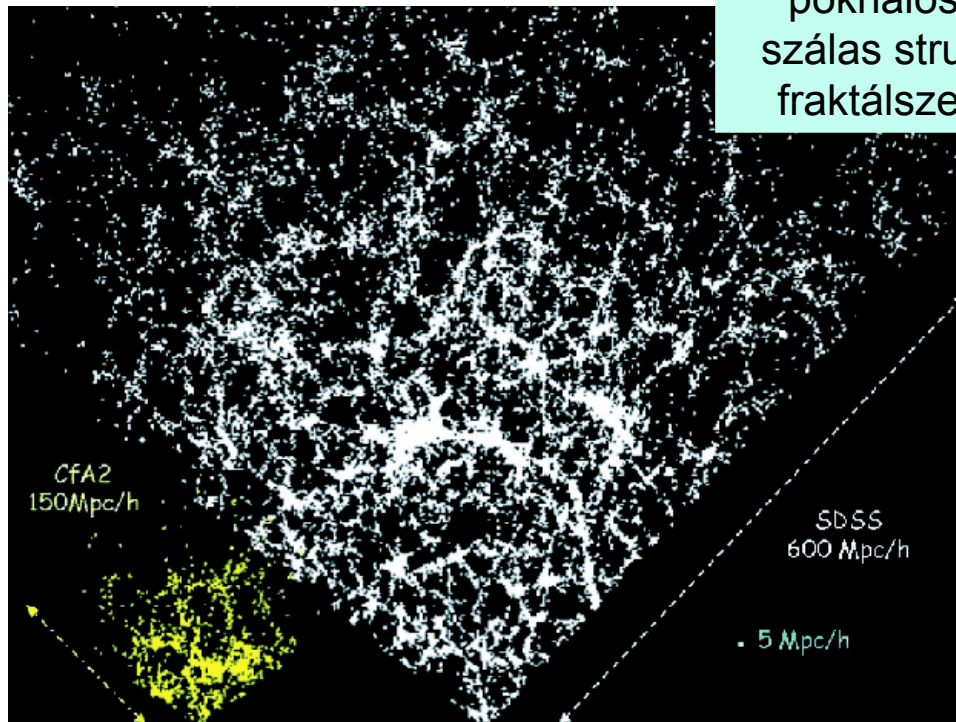




# Precíziós kozmológia, 1990-2020

Három független csillagászati mérés:

A galaxisok eloszlása nagyjából egyenletes, de nem véletlenszerű



Ma kb. 100 milliárd galaxist látunk magunk körül egy 13,8 milliárd fényév sugarú gömbben.

A galaxisok térbeli eloszlásának feltérképezése:

**SDSS: Sloan Digital Sky Survey**

a csillagászati Big Science kezdete:

**Szalay A. Sándor**

(ELTE, majd Johns Hopkins Univ)



**Csabai István (ELTE):**

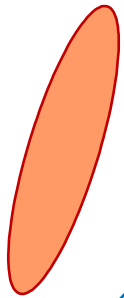
Az Univerzum

3 dimenziós térképe

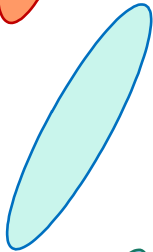
Atomcsill

2015. okt. 13.

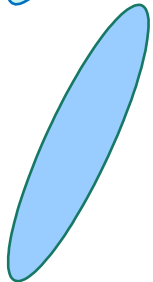
Három független csillagászati mérés:



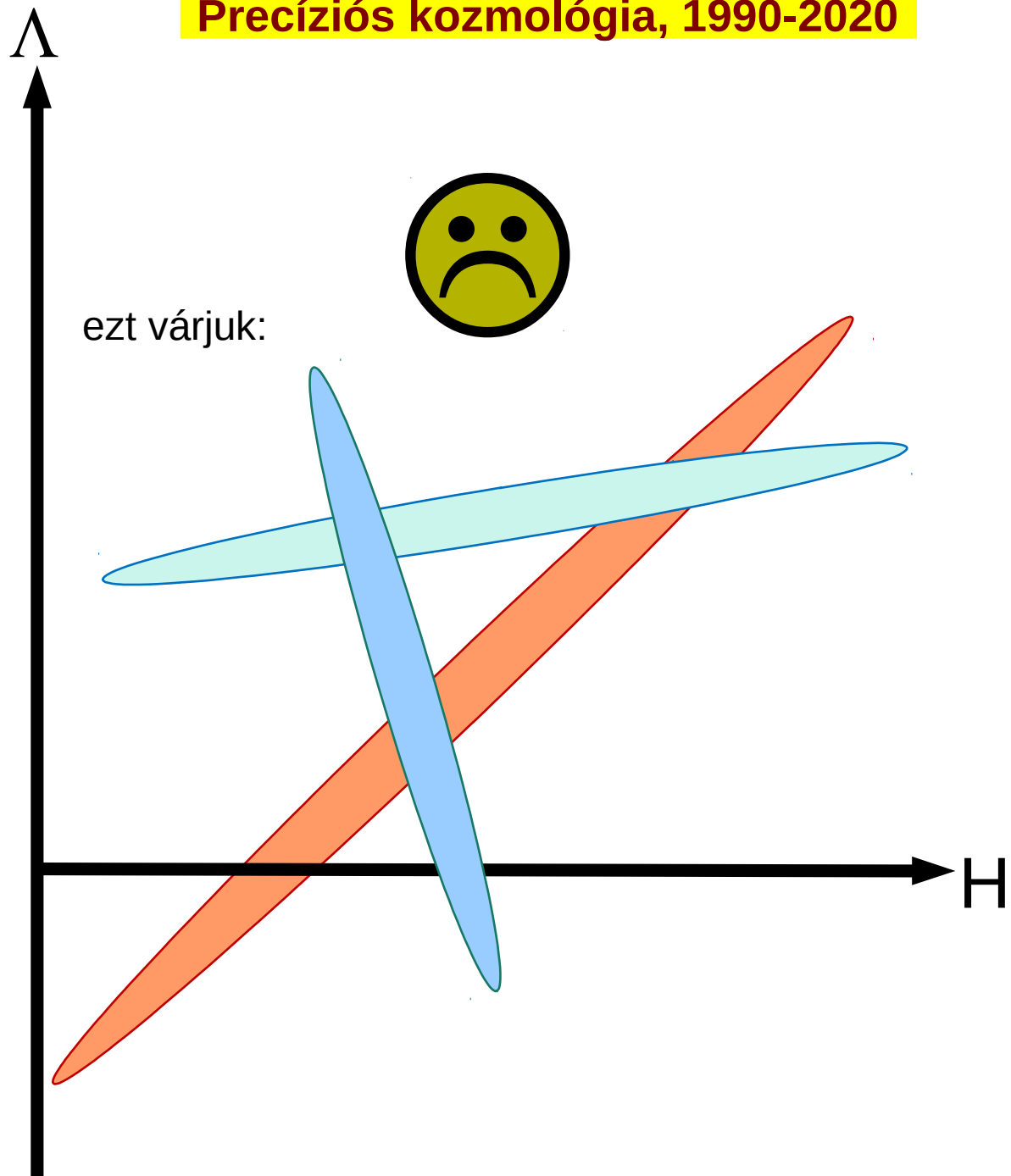
A háttérsugárzás fluktuációja által megengedett értékek



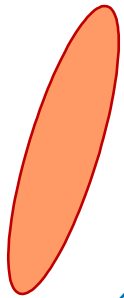
A távoli szupernóvák fényessége által megengedett értékek



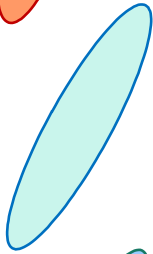
A galaxisok eloszlása által megengedett értékek



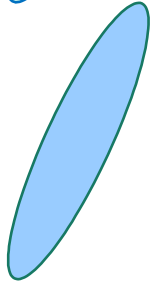
Három független csillagászati mérés:



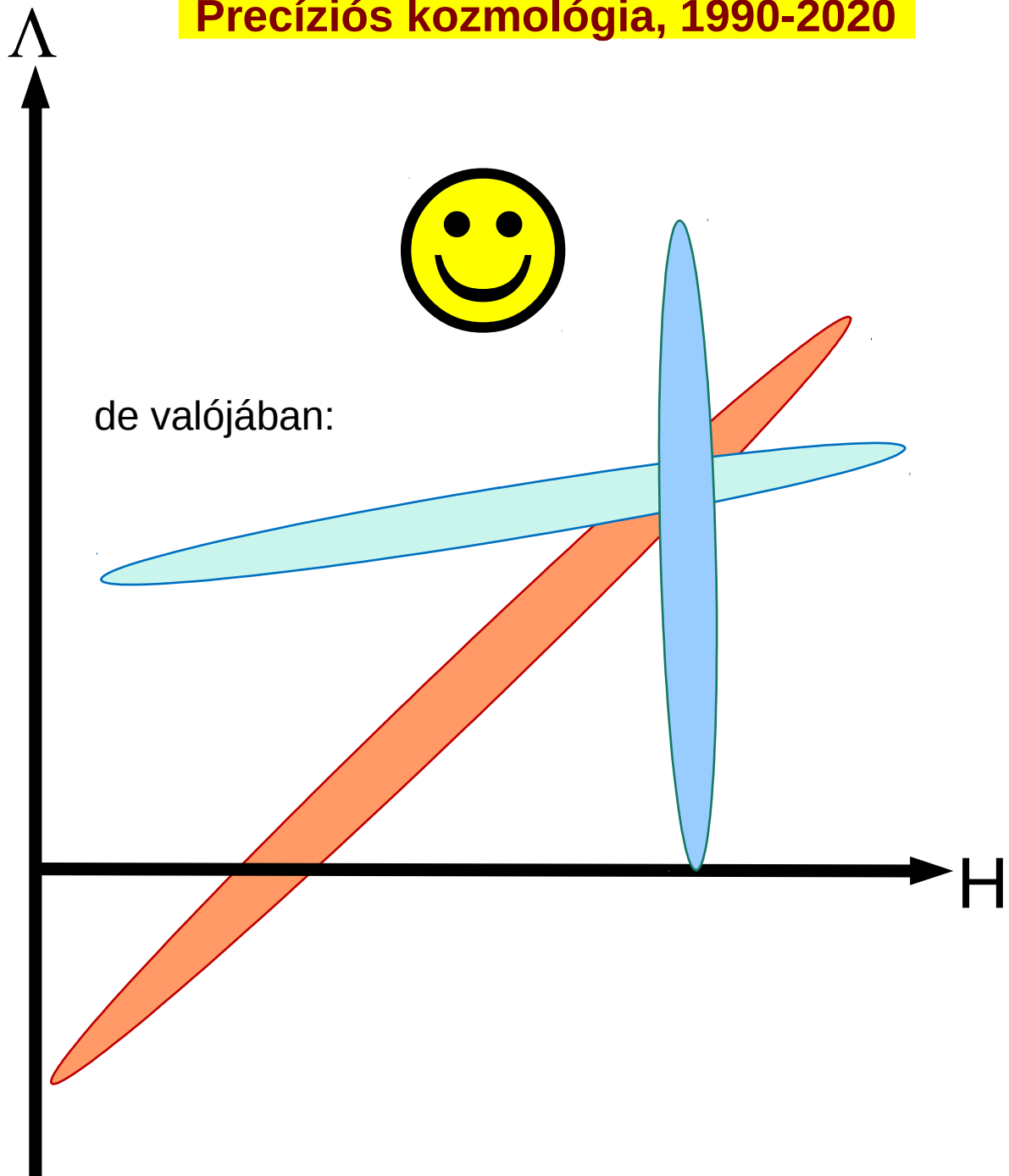
A háttérsugárzás fluktuációja által megengedett értékek



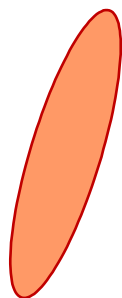
A távoli szupernóvák fényessége által megengedett értékek



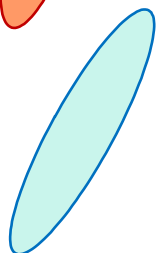
A galaxisok eloszlása által megengedett értékek



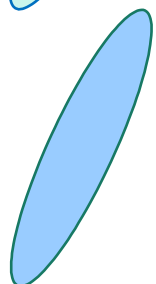
Három független csillagászati mérés:



A háttérsugárzás fluktuációja által megengedett értékek



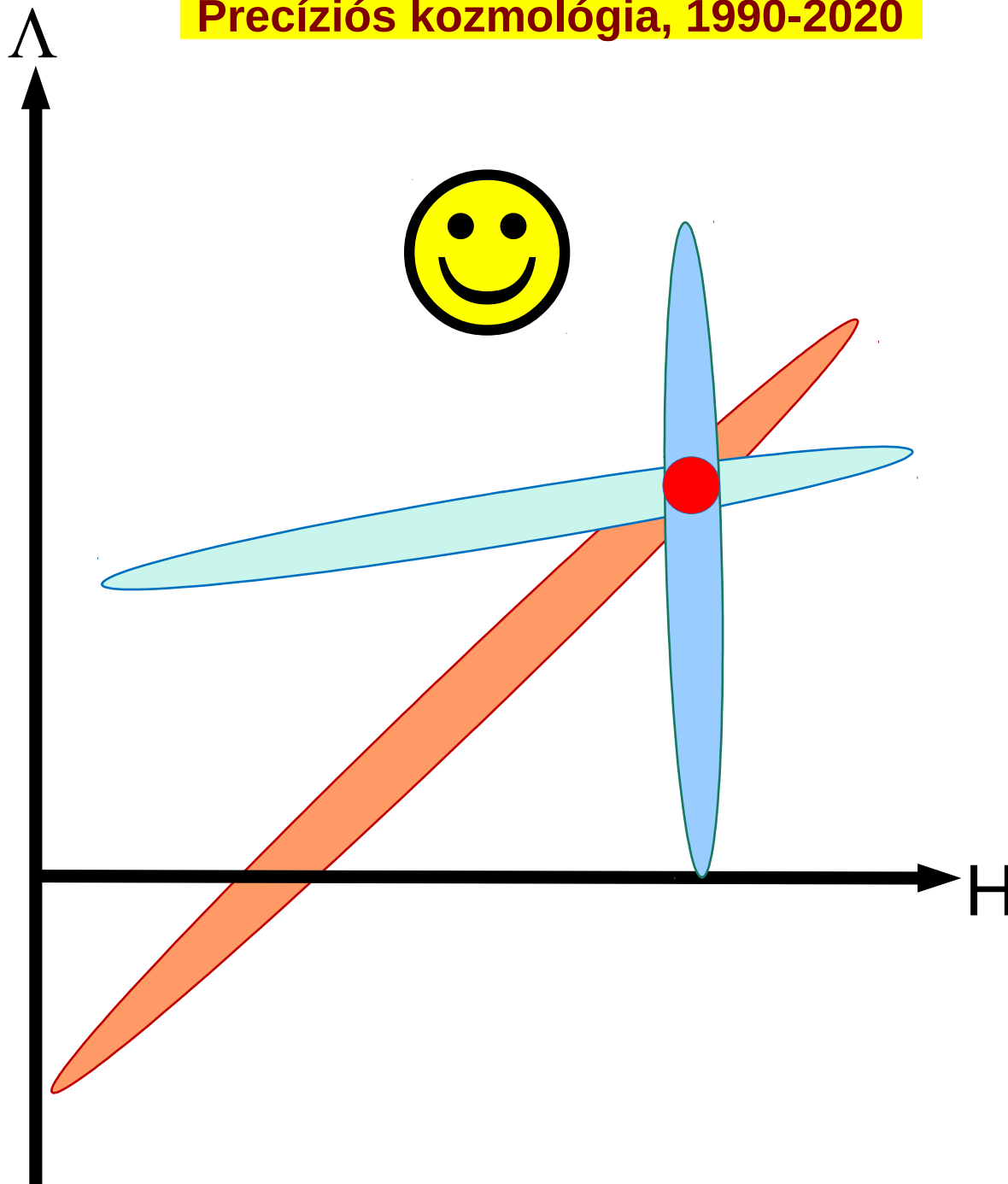
A távoli szupernóvák fényessége által megengedett értékek



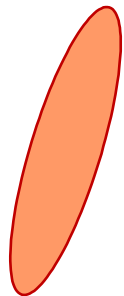
A galaxisok eloszlása által megengedett értékek



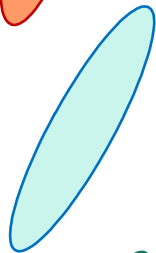
A három mérés közös megengedett tartománya



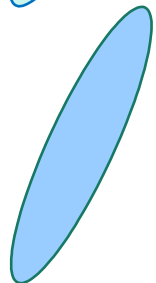
Három független csillagászati mérés:



A háttérsugárzás fluktuációja által megengedett értékek



A távoli szupernóvák fényessége által megengedett értékek

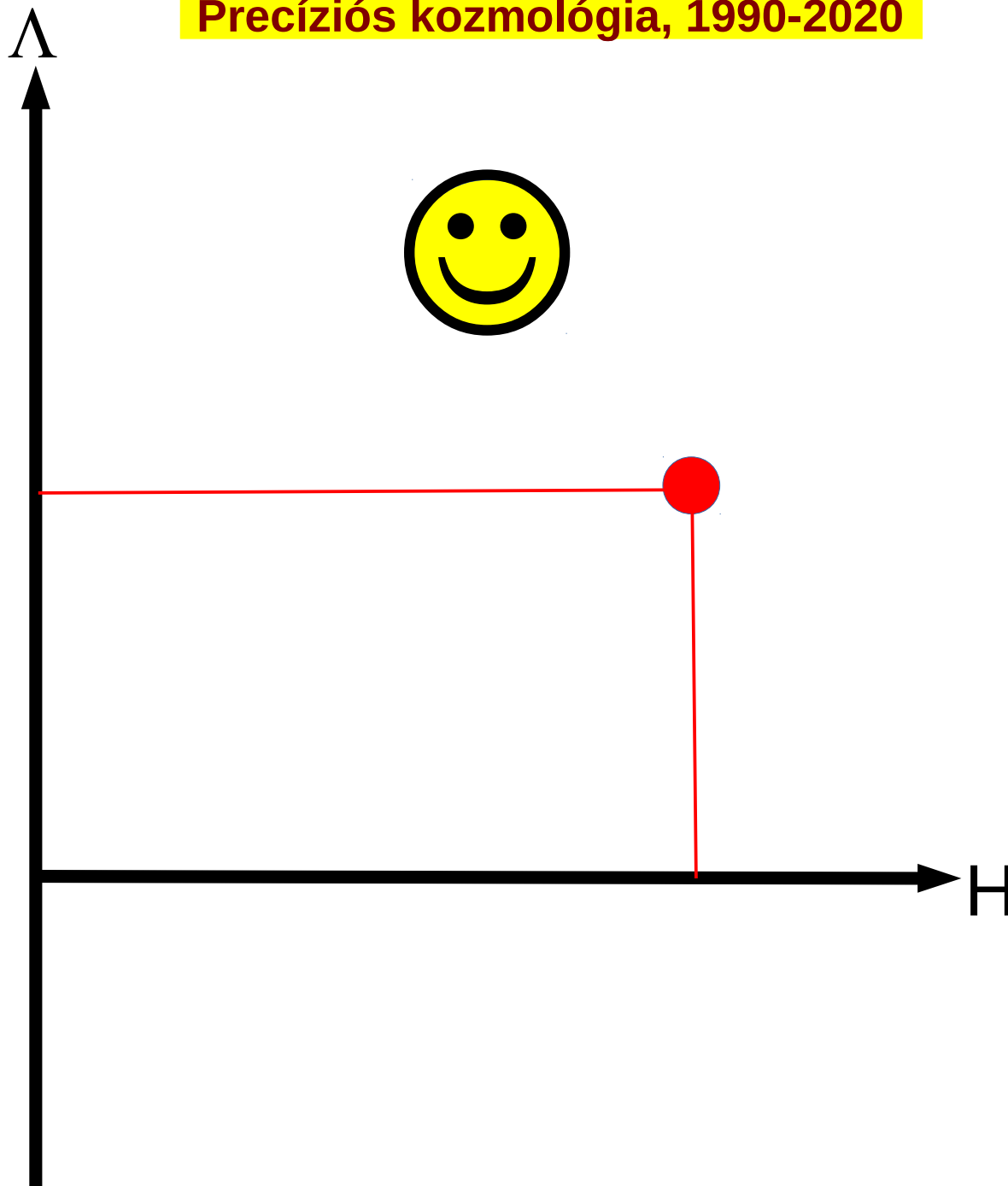


A galaxisok eloszlása által megengedett értékek



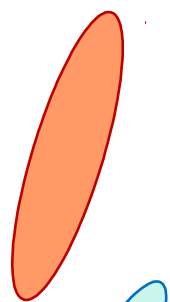
A három mérés közös megengedett tartománya

azaz az Univerzum megmért paraméterei

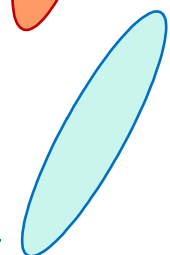


# Precíziós kozmológia, 1990-2020

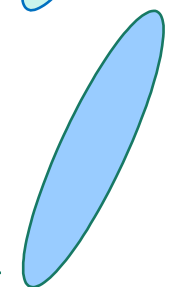
## Három független csillagászati mérés:



A háttérsugárzás fluktuációja által megengedett értékek



A távoli szupernóvák fényessége által megengedett értékek

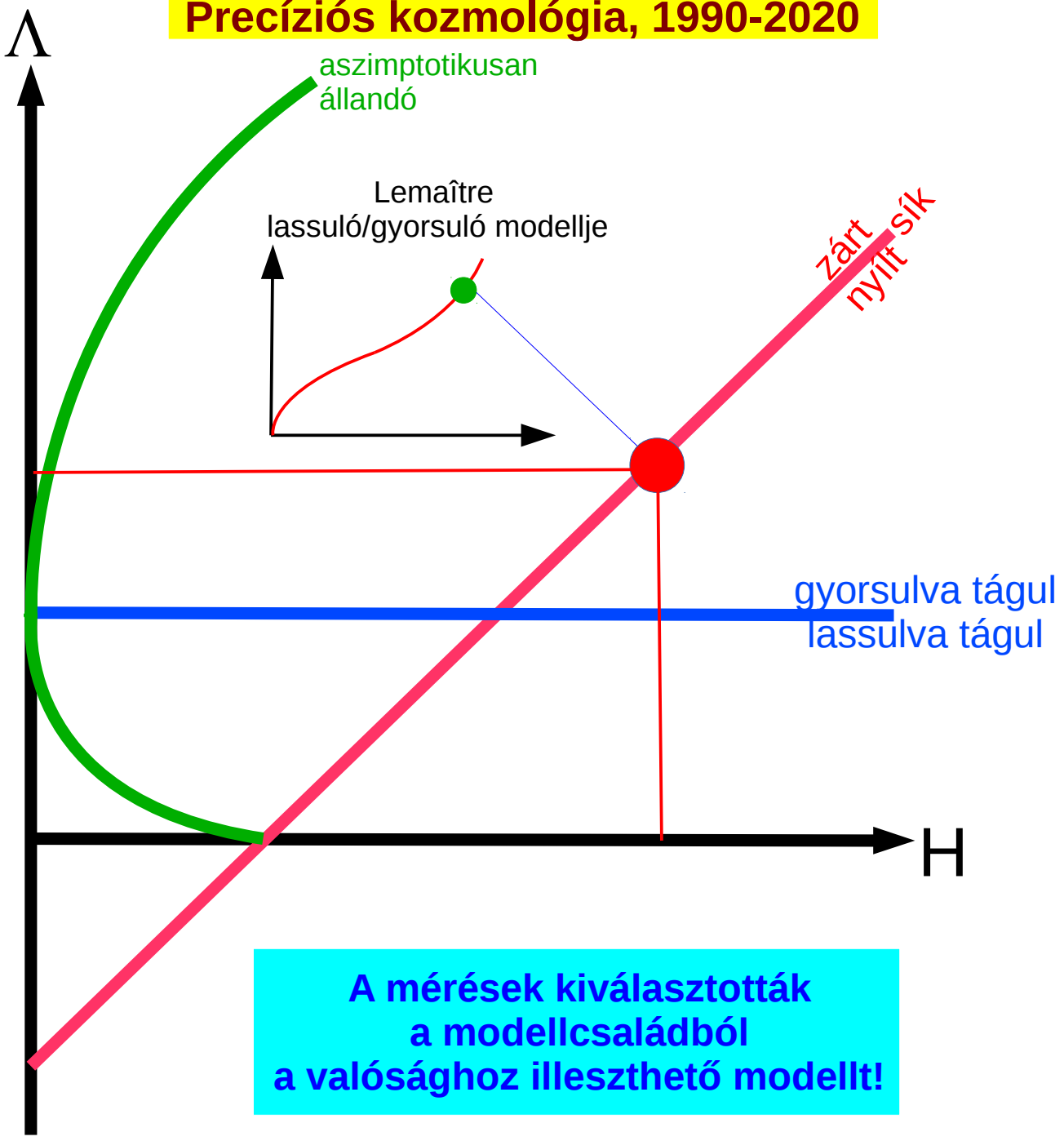


A galaxisok eloszlása által megengedett értékek



A három mérés közös megengedett tartománya

**azaz az Univerzum megmért paraméterei**



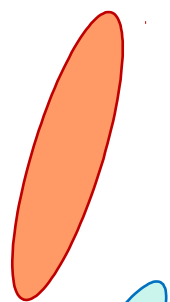
**A mérések kiválasztották a modelleszaládból a valósághoz illeszhető modellt!**



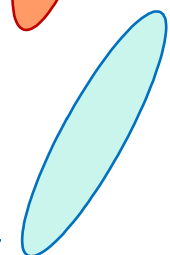


# Precíziós kozmológia, 1990-2020

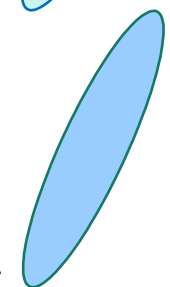
## Három független csillagászati mérés:



A háttérsugárzás fluktuációja által megengedett értékek



A távoli szupernóvák fényessége által megengedett értékek

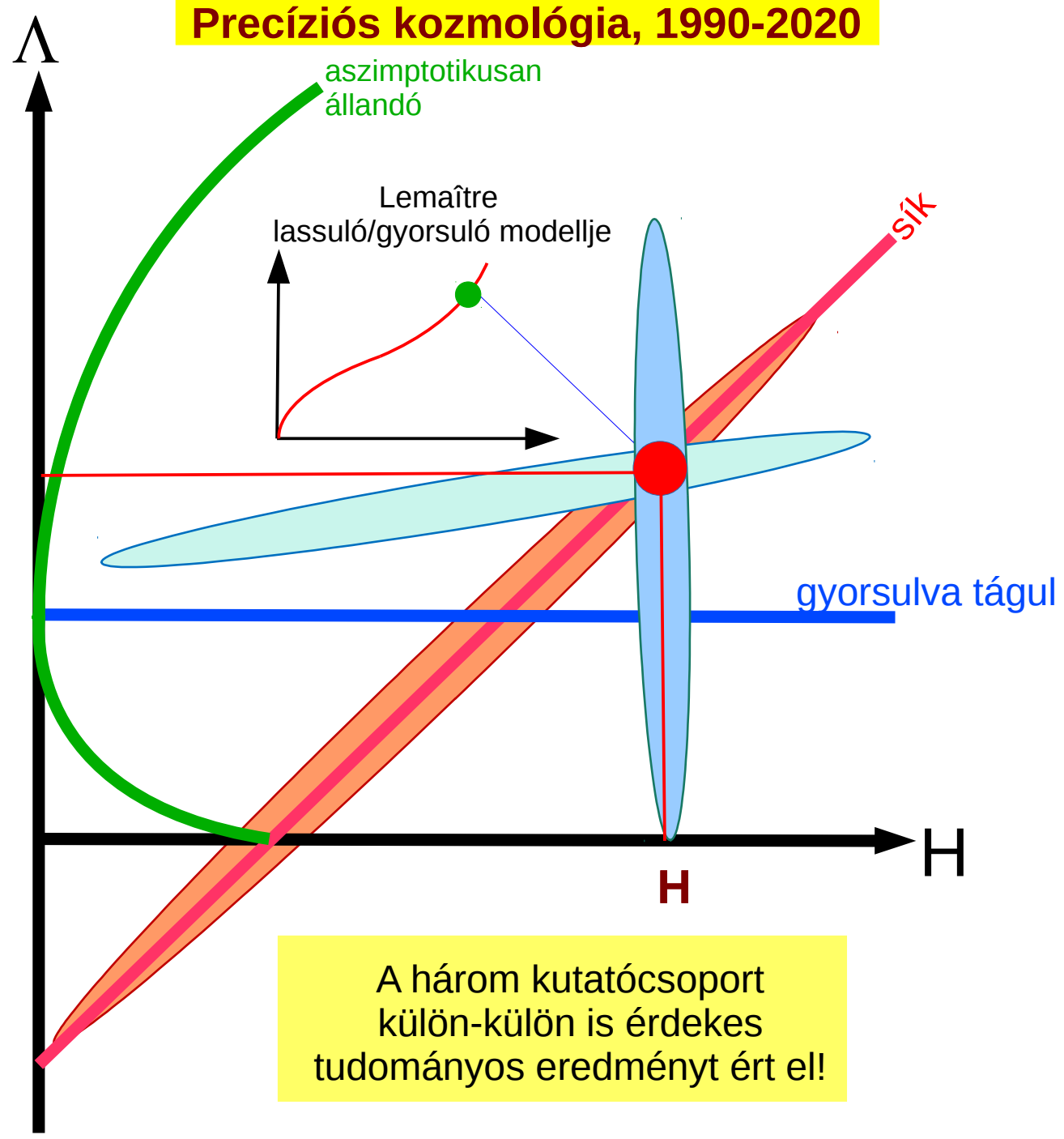


A galaxisok eloszlása által megengedett értékek



A három mérés közös megengedett tartománya

**azaz az Univerzum megmért paraméterei**



A három kutatócsoport külön-külön is érdekes tudományos eredményt ért el!



Az új mérések alapján az Univerzum jelenleg **gyorsulva tágu!** (3. görbe)

És öregebb, mint korábban gondoltuk...

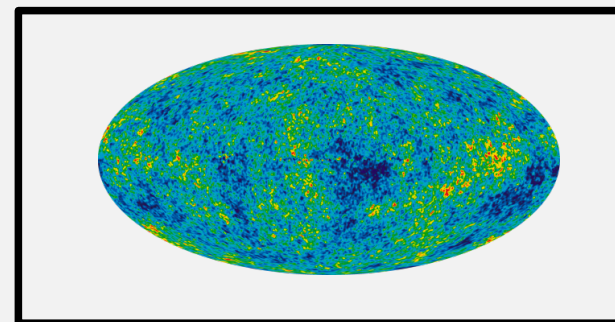


Ez bizony **antigravitáció!** (Csak sajnos nem lehet gördeszkára kenni...)

Az új mérések alapján kiállítható:

## Az Univerzum személyi igazolványa

- Neve: a mi Univerzumunk
- Életkora: 13,8 milliárd év
- Geometriája: sík
- Mérete: végtelen
- Tágulása: gyorsuló
- Összetétele:  
69% sötét energia + 27% sötét anyag +  
4% atomos anyag
- Életre **alkalmas** ✓



Fotó helye

Ez a helyzet „a tudomány mai állása szerint”.

De vannak egzotikusabb elméletek is.  
Ki tudja, hátha valamelyik igaznak bizonyul....

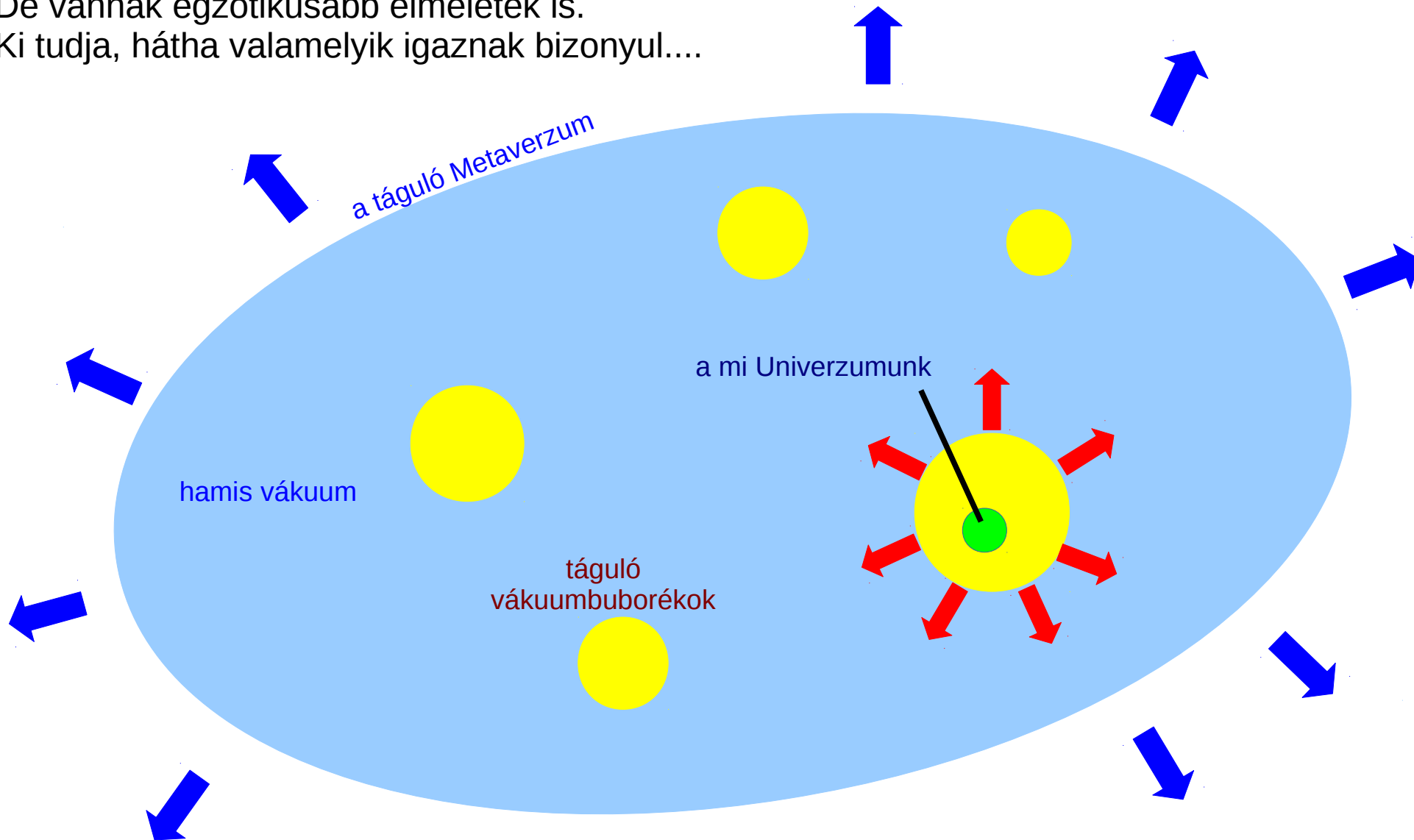
**Örökös inflációs modell**



Ez a helyzet „a tudomány mai állása szerint”.

Örökös inflációs modell

De vannak egzotikusabb elméletek is.  
Ki tudja, hátha valamelyik igaznak bizonyul....



Ez a helyzet „a tudomány mai állása szerint”.

Örökös inflációs modell

De vannak egzotikusabb elméletek is.  
Ki tudja, hátha valamelyik igaznak bizonyul....



Térben és időben végtelen, folyamatosan táguló „Metaverzumban” egyre újabb, kívülről nézve véges, belülről nézve végtelen „Univerzumocskák” keletkeznek, és indulnak tágulásnak...

A tudományos fantázia határa a csillagos (galaxisos) ég...







**„Több dolgok vannak földön és egen, Horatio...”**



„Több dolgok vannak földön és egen, Horatio...”

# Határtalan (?) Világegyetem



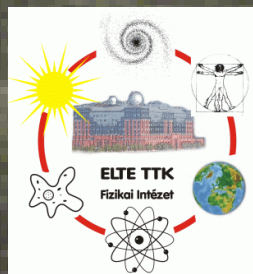
„Több dolgok vannak földön és egen, Horatio...”

Határtalan  
(?)  
Világegyetem

Köszönöm a figyelmet!



# Határtalan (?) Világegyetem



Az atomoktól a csillagokig

Dávid Gyula  
2019. 01. 17.