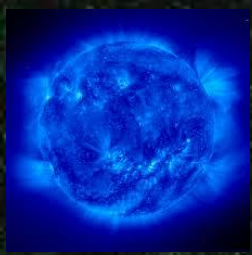
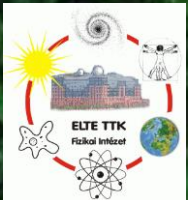
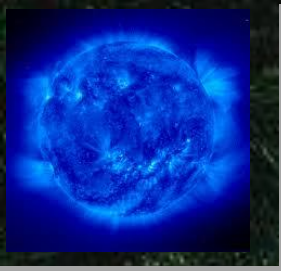


# Feltámadás a hőhalálból

Dávid Gyula  
2023.09.14.

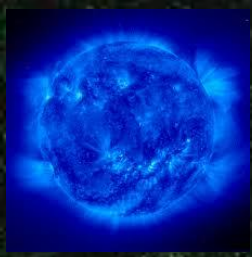


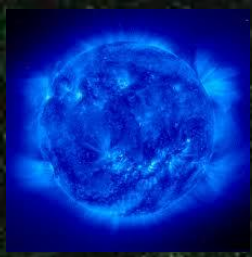


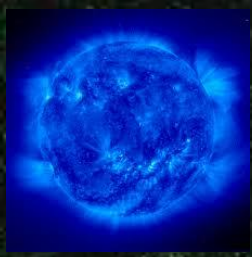




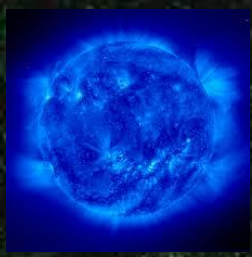


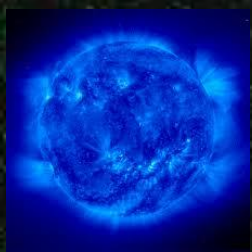


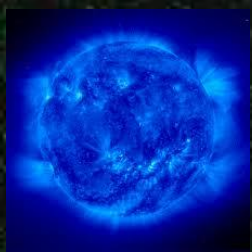






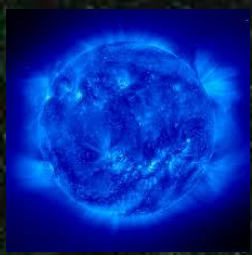




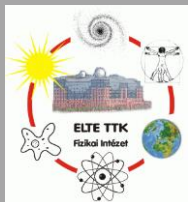


# Feltámadás a hőhalálból

Dávid Gyula  
2023.09.14.

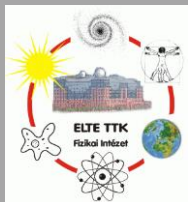


# Feltámadás a hőhalálból



Dávid Gyula  
2023.09.14.

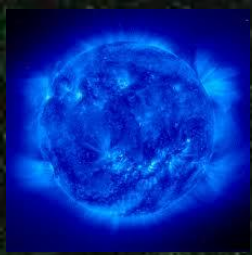
# Feltámadás a hőhalálból



Dávid Gyula  
2023.09.14.

# Feltámadás a hőhalálból

Dávid Gyula  
2023.09.14.



# Ez az előadás sok korábbi Atomcsill-előadásra hivatkozik

Mindezek elérhetők: [atomcsill.elte.hu](http://atomcsill.elte.hu)

Termodinamikai egyensúly:  
dgy:  
**A lehűléstől forrósodó téгла**  
Atomcsill, 2012.01.19

Elemi részecskék: dgy:  
**A sötét anyag nyomában**  
Atomcsill, 2016.09.08

Termodinamikai folyamatok:  
dgy:  
**Hamuval fűteni**  
Atomcsill, 2013.01.10

A nukleonok fizikája:  
dgy: **Kirándulás  
a nukleáris völgybe**  
Atomcsill, 2011.09.29

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

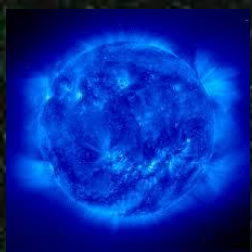
A Világegyetem tágulása:  
dgy:  
**Határtalan (?) Világegyetem**  
Atomcsill, 2019.01.17

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

Az Univerzum jövője: dgy:  
**A következő 137 kvintillió év**  
Atomcsill, 2021.09.09









**Hőhalál ?**



**Hőhalál ?**



**Hőhalál ?**



A demonic creature with large, curved horns and wings is crouching in a dark, fiery, and hellish environment. The creature has a red and black body with sharp spines along its back and wings. In the background, there are skeletal figures and glowing fires, creating a grim and terrifying atmosphere.

**Hőhalál ?**

# Hőhalál ?



**Hóhalál !**

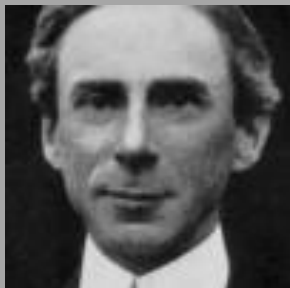
# Hőhalál !

**mindig és mindenütt  
egyforma,  
unalmas,  
szürke,  
strukturálatlan  
és változatlan  
világ**



# Hőhalál !

**mindig és mindenütt  
egyforma,  
unalmas,  
szürke,  
strukturálatlan  
és változatlan  
világ**



**...hogy a korok minden munkája, minden odaadás,  
minden ihlet, az emberi génusz minden,  
Napnál csillogóbb ragyogása arra van ítélve,  
hogy kialudjék a Naprendszer roppant halálában,  
és az Ember alkotásának temploma sírját lelje  
egy romokban heverő Univerzum törmelékei között –**



**– mindezek a dolgok, ha nem is teljesen vitán felüliek,  
de annyira közel állnak az igazsághoz,  
hogy semmilyen filozófia sem remélhet elfogadást,  
ha elveti őket.**

**Bertrand Russel (1872–1970)  
matematikus és filozófus  
1900 körül**

**Hőhalál**

**Ludwig Boltzmann (1844–1906)  
a statisztikus fizika atyja,  
aki állítólag a hőhalál  
problémájába őrült bele**



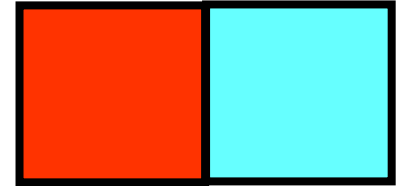
# Hőhalál !

a fejlődés homogén  
végállapota

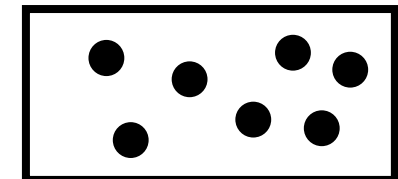
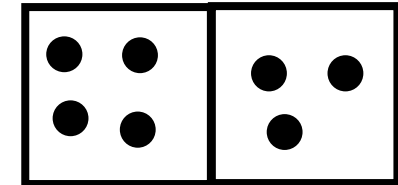
a 19. században  
kialakult  
**termodinamika**  
**és statisztikus fizika**  
világképe szerint a  
Világegyetem fejlődése  
a hőhalál irányába tart

## Termodinamika

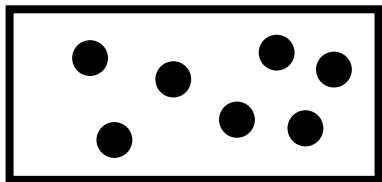
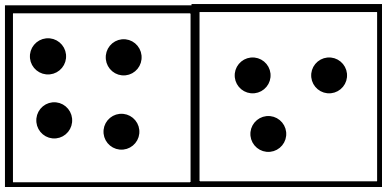
- Jean, hány fok van idebent?
- Húsz, uram.
- És odakint?
- Négy, uram.
- Jean, nyissa ki az ajtót, és engedje be azt a négyet is!



- Jean, hány **vendég** van idebent?
- Húsz, uram.
- És odakint?
- Négy, uram.
- Jean, nyissa ki az ajtót, és engedje be azt a négyet is!



# Két részrendszer egyesítése, új egyensúlyi állapot



## Van, ami összeadódik:

térfogat  
részecskeszám  
tömeg  
energia  
elektromos töltés  
stb

**extenzív  
mennyiségek**

## Van, ami kiegyenlítődik:

nyomás  
koncentráció  
sűrűség  
hőmérséklet  
elektromos potenciál  
stb

**intenzív  
mennyiségek**

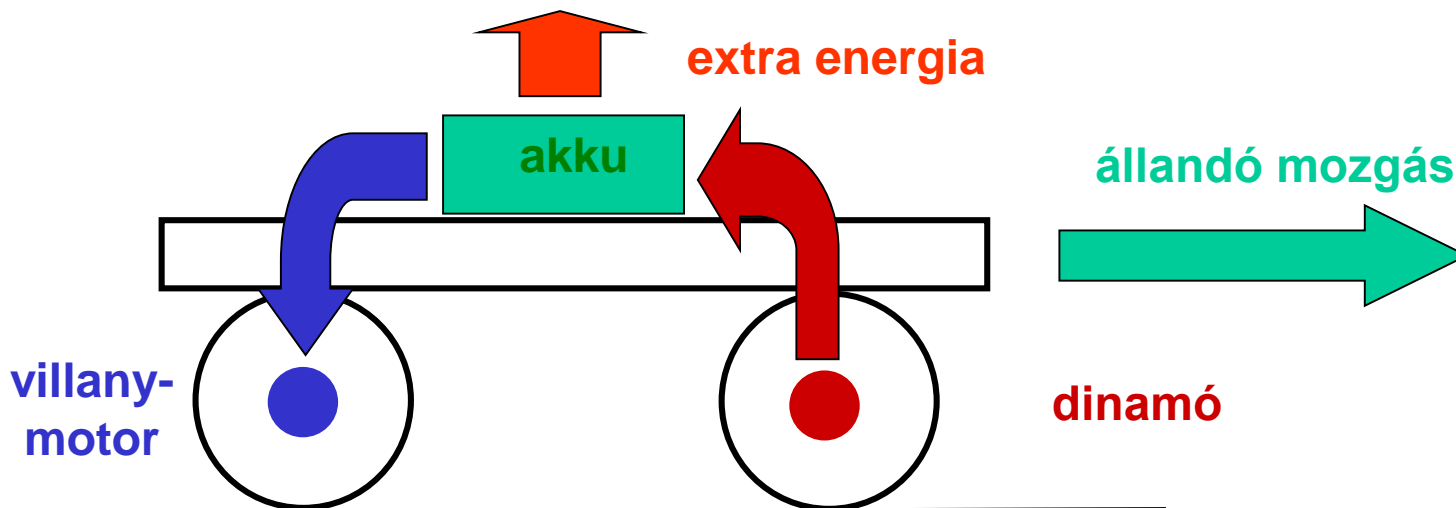
**Egyensúlyi állapotban az intenzív mennyiségek mindenütt egyformák, nincsenek különbségek**

**Ha nincs egyensúly, makroszkópikus folyamatok indulnak meg az intenzív mennyiségek kiegyenlítődése irányában**

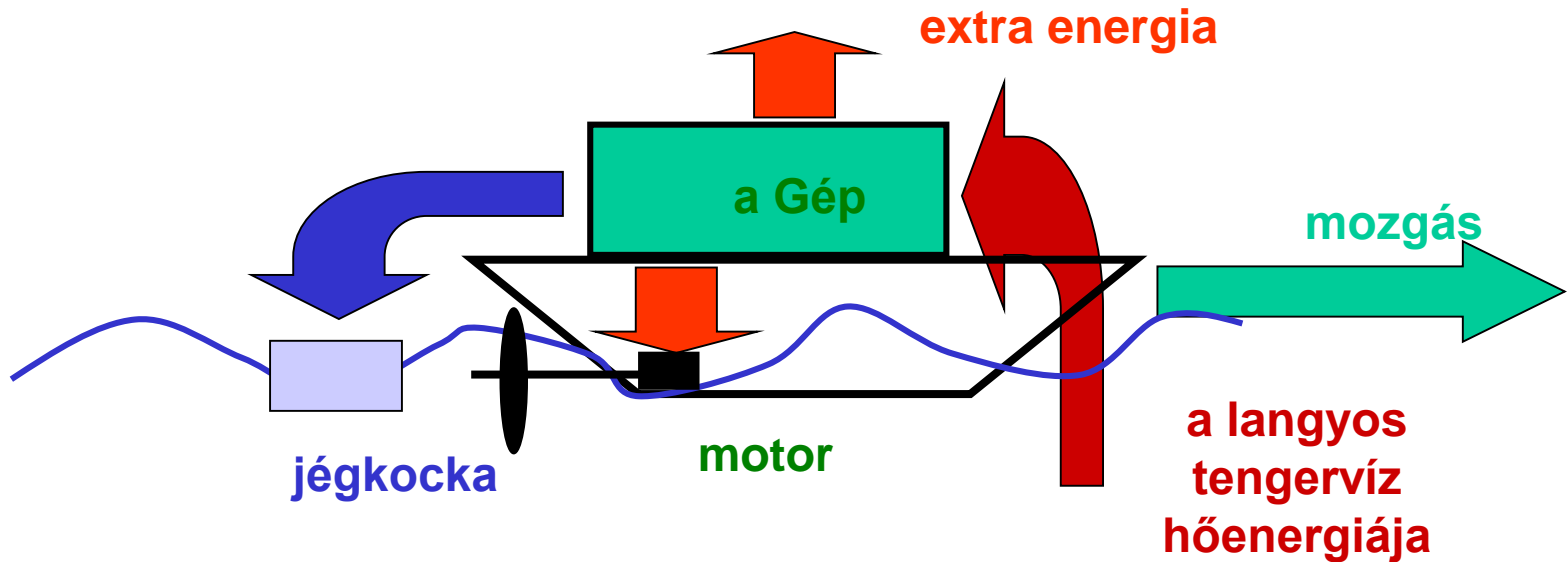
A termodinamika első  
főtétele:  
az energia  
megmaradásának  
törvénye

a XIX. században  
kiterjesztették az  
energiamegmaradás tételét  
az ÖSSZES energiatípus  
összegére

Ezt sértené az elsőfajú örökmozgó: **Karcsi bácsi szuperautója**



# Ezt a gépet viszont **nem tiltja** az első főtétel: Pista bácsi superhajója

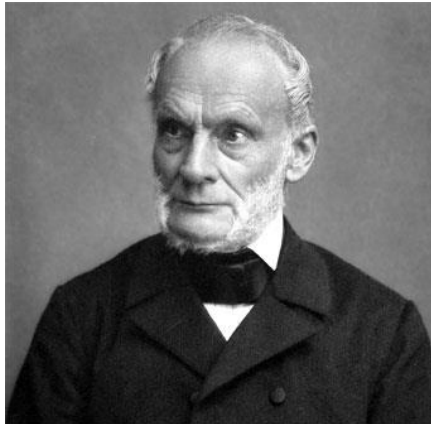


De tiltja a **MÁSODIK FŐTÉTEL**:

- A hő nem megy magától az alacsonyabb hőmérsékletű helyről a magasabbra
  - Egy hőtartállyal nem lehet hőerőgépet készíteni
- Egy langyos testből nem lesz magától egy forró és egy hideg test
  - A rendezetlenség (entrópia) sohasem csökken, mindig nő
  - stb

# a termodinamika második főtétele

- A hő nem megy magától az alacsonyabb hőmérsékletű helyről a magasabbra
  - Egy hőtartállyal nem lehet hőerőgépet készíteni
- Egy langyos testből nem lesz magától egy forró és egy hideg test
  - A rendezetlenség (entrópia) sohasem csökken, mindig nő
  - stb



**Rudolf Clausius (1822–1888)**  
az entrópia fogalmának  
bevezetője

**Boltzmann:**  
az entrópia a mikroszkópikus  
rendezetlenség mértéke





## a termodinamika második főtétele

- A hő nem megy magától az alacsonyabb hőmérsékletű helyről a magasabbra
  - Egy hőtartállyal nem lehet hőerőgépet készíteni
- Egy langyos testből nem lesz magától egy forró és egy hideg test
  - A rendezetlenség (entrópia) sohasem csökken, mindig nő
  - stb

E fizikai **törvény** egy másik megfogalmazása:

**Zárt rendszerben beáll a termodinamikai egyensúly**

Minden törvényhez tartozik egy apróbetűs **végrehajtási utasítás:**

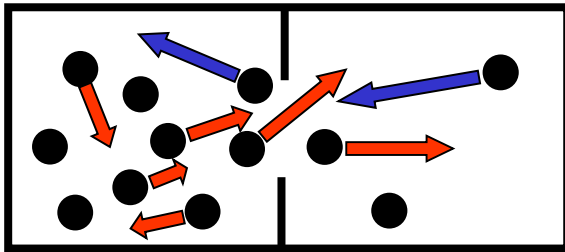
**előbb – utóbb...**

# Termodinamikai egyensúly

avagy a második főtétel mikroszkópikus mechanizmusa

egymást **NEM** kiegyenlítő  
mikroszkópikus folyamatok

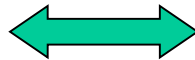
makroszkópikus változás



**nincs egyensúly: aszimmetria:**  
nettó egyirányú folyamat  
az intenzív paraméterek  
különböznek

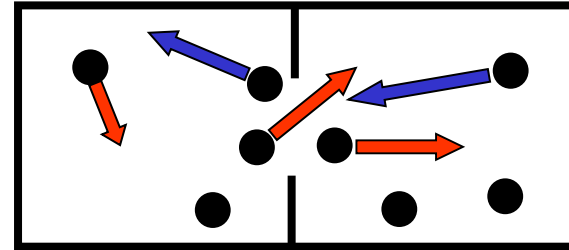
$$p_1 > p_2$$

**túlságosan rendezett**  
**(kis entrópiájú) állapot**



egymást kiegyenlítő  
mikroszkópikus folyamatok

makroszkópikus nyugalom



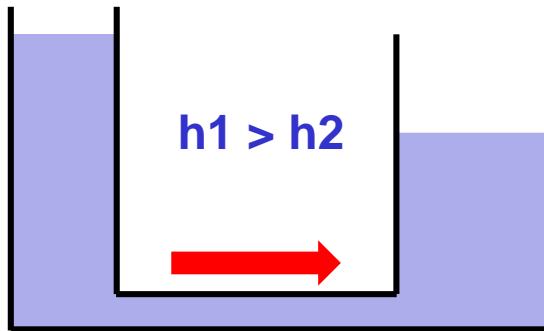
**egyensúly: szimmetria:**  
nettó nulla változás  
az intenzív paraméterek  
kiegyenlítődtek, azonosak

$$p_1 = p_2$$

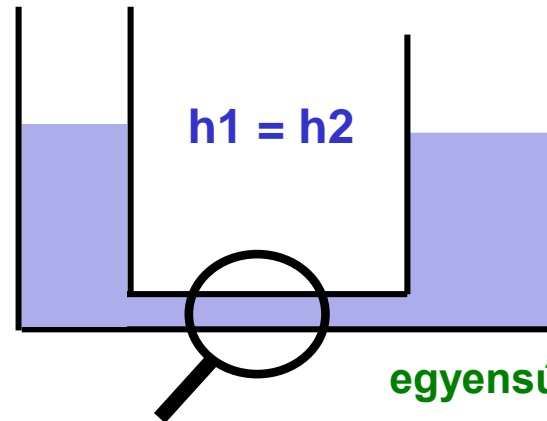
**rendezetlenebb**  
**(nagy entrópiájú) állapot**

# a termodinamikai egyensúly modellje:

## közlekedő edények



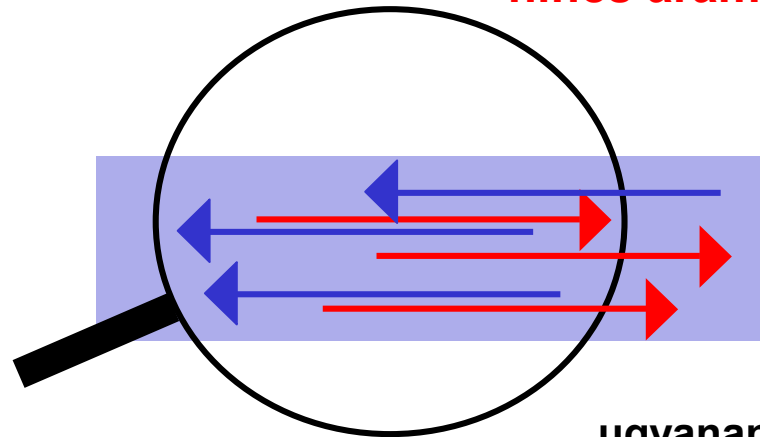
nincs egyensúly:  
**áramlás**  
makroszkópikus  
kiegyenlítődési folyamat



egyensúly van:  
**nincs áramlás**

az egyensúly nem  
sztatikus, hanem  
**dinamikus:**

egymást kiegyenlítő  
mikrofolyamatok



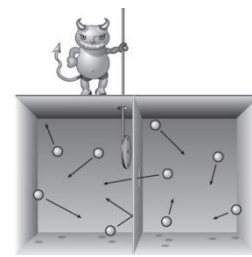
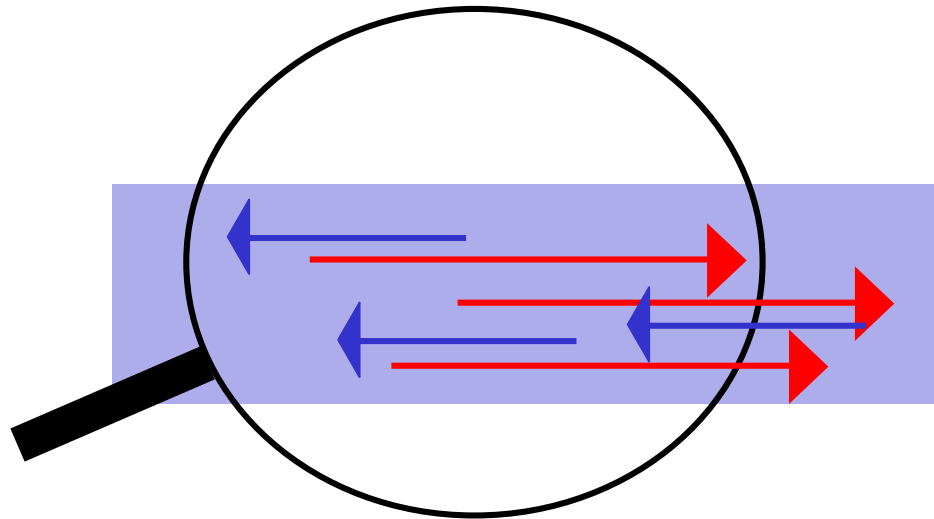
ugyanannyi részecske  
megy jobbra, mint balra



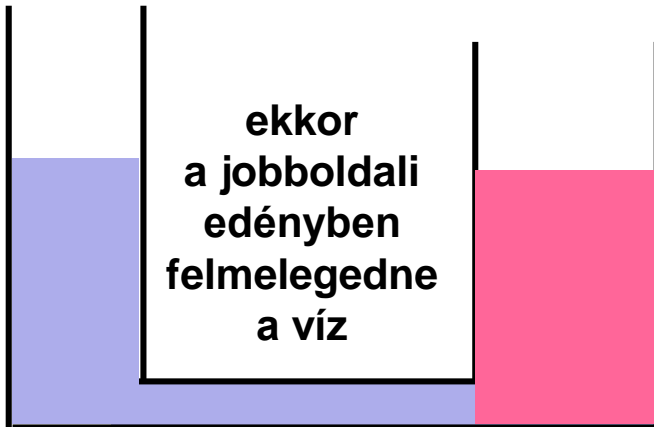
## dinamikus egyensúly:

ugyanannyi részecske  
megy jobbra, mint balra

lehetséges-e, hogy  
jobbra csak a gyorsabb  
részecskék mennek,  
balra csak a lassabbak?



Maxwell  
démona



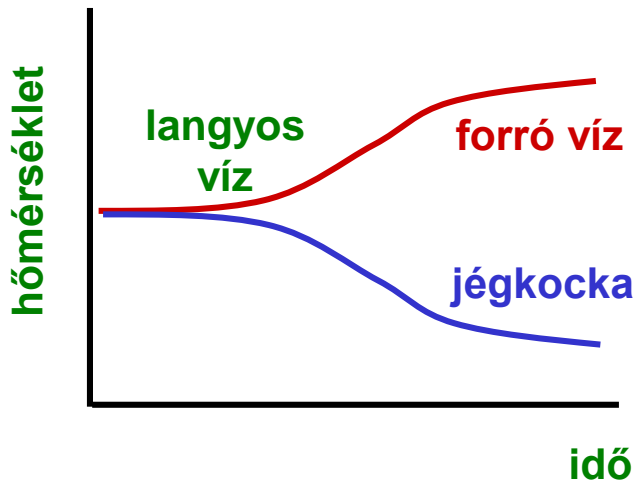
egyetlen (langyos) hőtartályból  
kettő (egy hideg és egy meleg lenne  
közéjük hőerőgép kapcsolható

**MÁSODFAJÚ ÖRÖKMOZGÓ !!!**

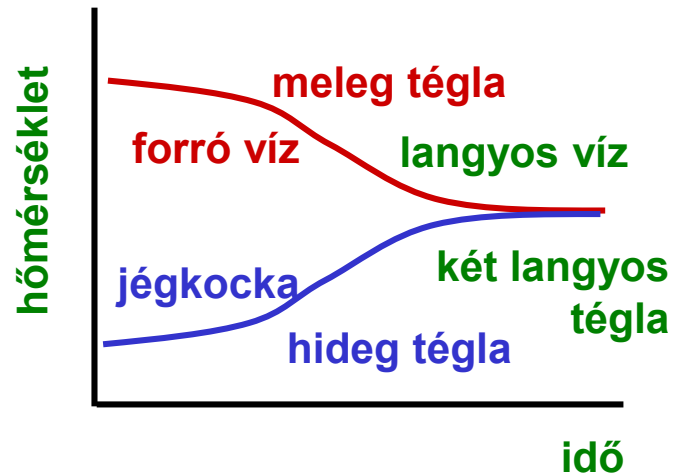


a termodinamika megtiltja az ilyen  
folyamatokat!

## Pista bácsi szuperhajója



## Welcome to the Real World!



az intenzív paraméterek kiegyenlítődése

az entrópia (a rendezetlenség) növekedése

Filozófiai következtetés: a végállapot

minden intenzív paraméter mindenütt egyforma lesz  
homogén, unalmas, egyforma massa, azonos nyomás, hőmérséklet, stb  
nincsenek már kiegyenlítődési folyamatok: nem történik semmi  
„megáll az idő”: ez lesz a **HŐHALÁL...** (kérdés: miért nem jött már el?)

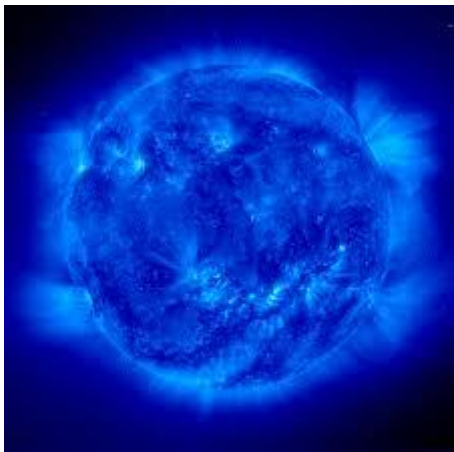
Russel: minek szeretni, ha úgyis jön a hőhalál... ☹

# Hőhalál !

**Ebben a végállapotban  
az entrópia eléri  
a lehetséges  
maximális értéket**

**mindig és mindenütt  
egyforma,  
unalmas,  
szürke,  
strukturálatlan  
és változatlan  
világ**

**a mai világ nincs a  
hőhalál állapotában**

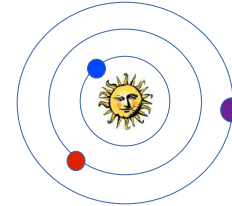
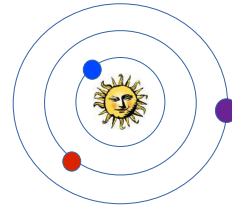
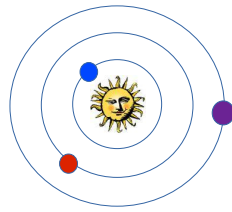


**de miért kellene  
abban lennie?**

**mert sokáig úgy  
gondolták, hogy a  
világ végtelen  
ideje létezik**

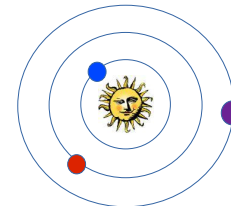
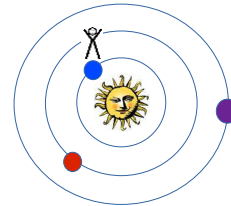
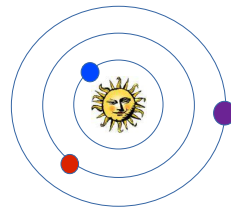
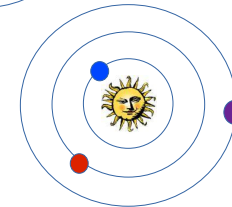
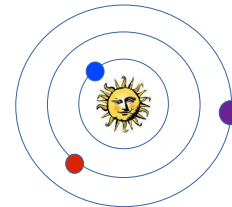
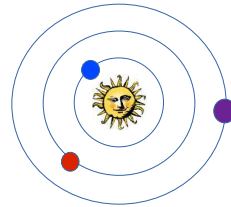


Az Újkor határán...

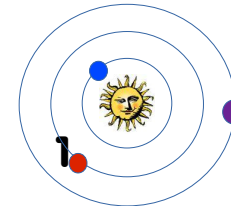
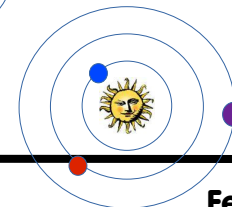
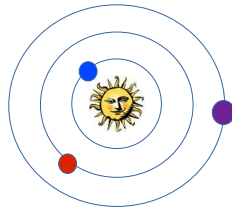
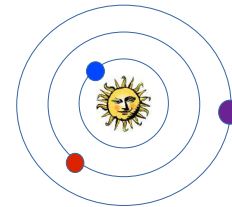
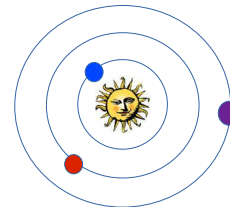


Giordano Bruno  
(1548-1600)

**Bruno felfedezi  
a végtelent**



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





A térben végtelen és  
homogén világ időben  
kétféle lehet



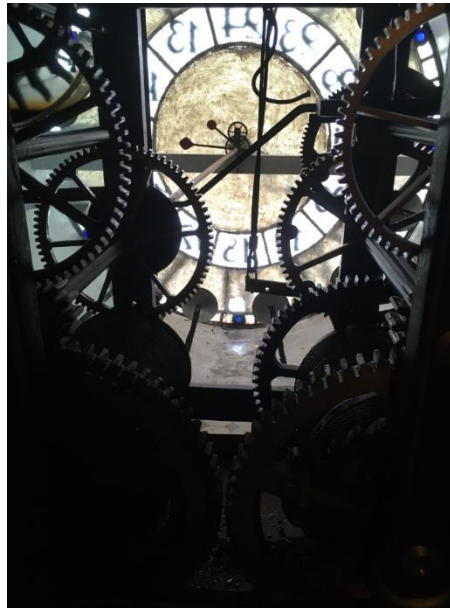
**Időben végtelen:**

Ez volt a 19. századi  
mechanikus világkép



**Időben véges:**

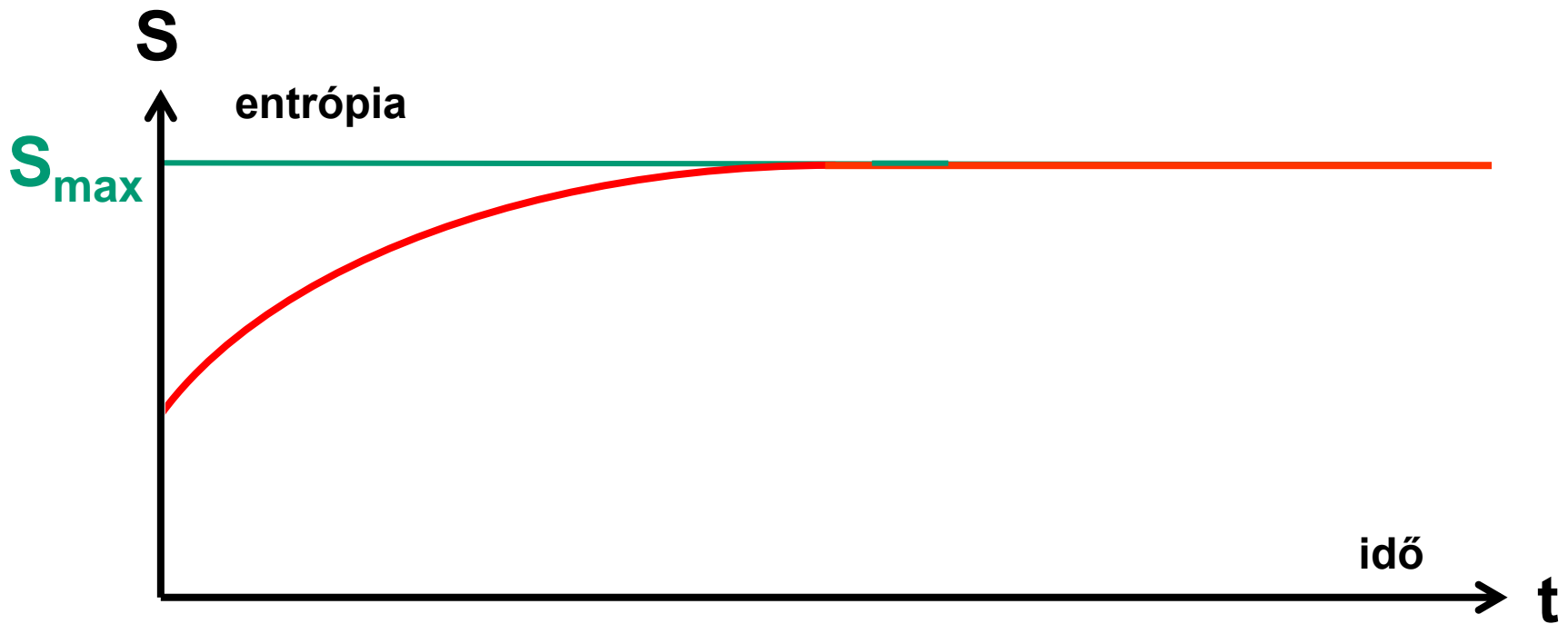
Elkészült a nagy  
mű, igen!  
A gép forog,  
az alkotó pihen.  
(Madách)



És akkor jött a  
**termodinamika:**  
egyirányú folyamatok

Egy végtelen ideje  
létező világban az  
állandóan növekvő  
entrópiának már el  
kellett volna érnie a  
lehetséges  
maximumot!



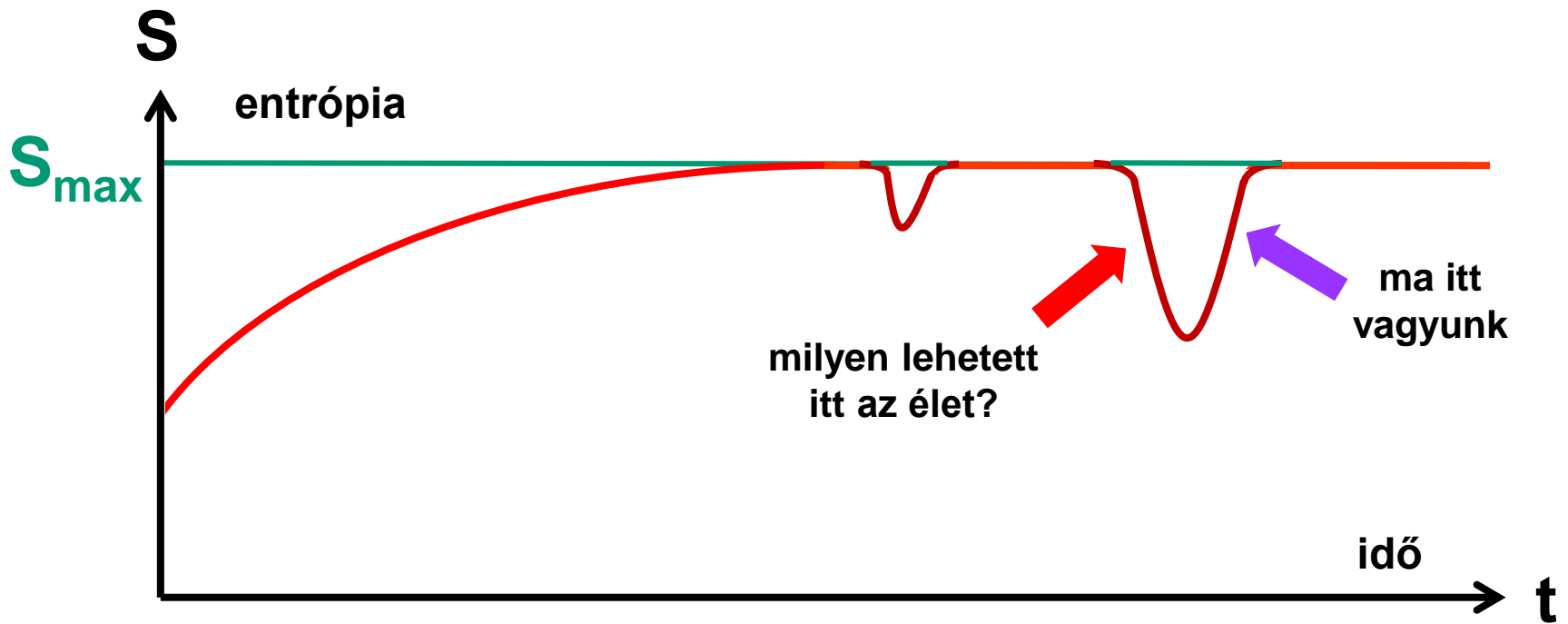


**Boltzmann:**  
 a termodinamika törvényei  
 mögött ott áll a  
 statisztikus fizika

**a törvények csak  
 átlagosan érvényesek**

**lehetségesek kis eltérések,  
 véletlen fluktuációk**





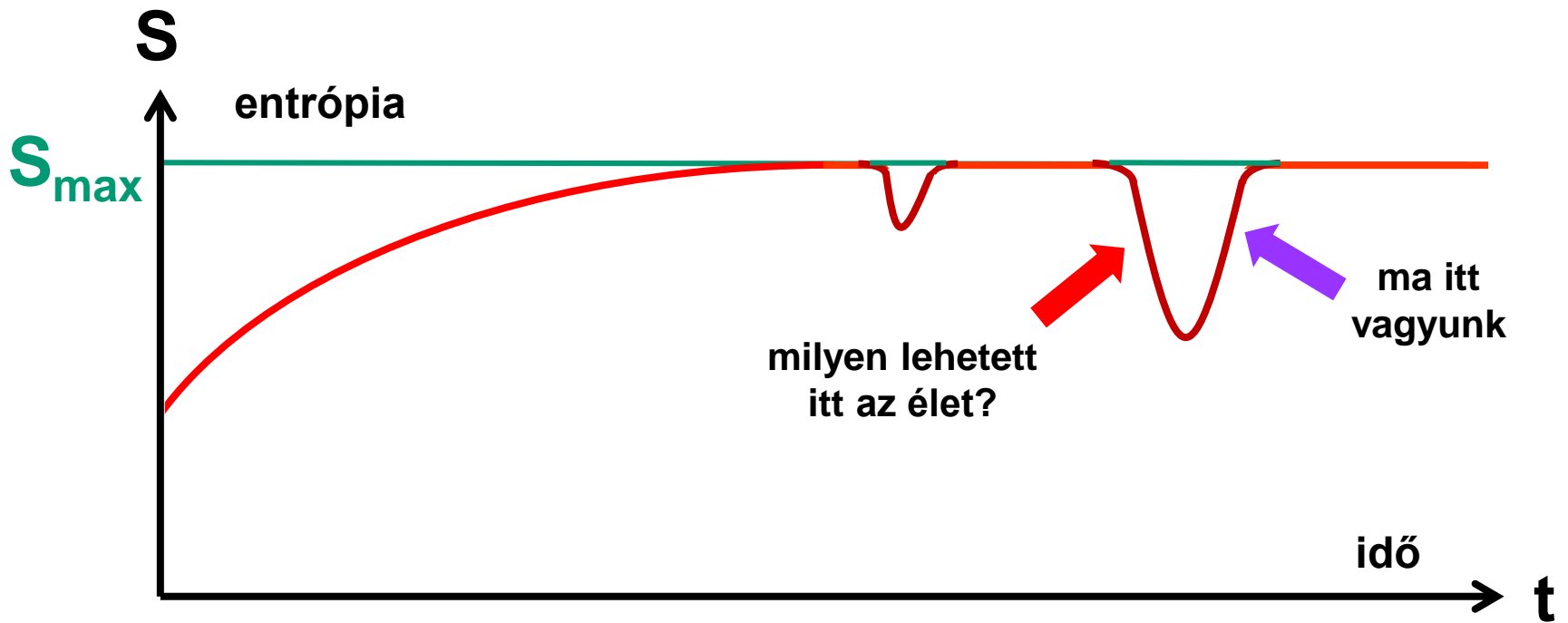
Boltzmann:  
a termodinamika törvényei  
mögött ott áll a  
statisztikus fizika

a törvények csak  
átlagosan érvényesek

lehetségesek kis eltérések,  
véletlen fluktuációk

minél nagyobbak, annál  
kevésbé valószínűek





**mekkora a fluktuáció?**

amplitudóban?

minél nagyobb, annál kevésbé valószínű

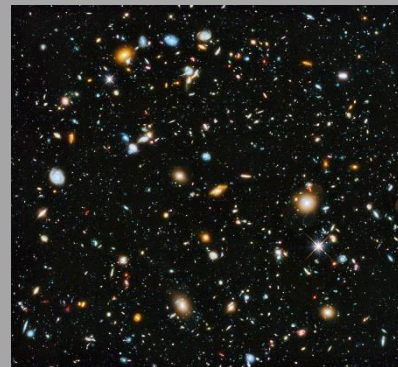
**lehetségesek kis eltérések, véletlen fluktuációk**

térbeli méretben?

mekkora a rendezett tartomány?

elég lenne kisebb is!





**minek ez a nagy  
Univerzum itt  
körülöttünk?**



**mekkora a  
rendezett  
tartomány?**

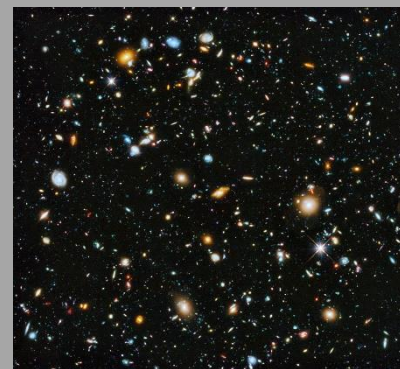


**elég lenne  
kisebb is!**

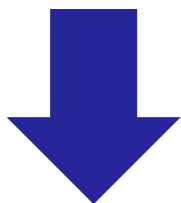
**sokkal valószínűbb  
lenne!**

## A nagy fordulat:

1964-ben a  
rádiócsillagászok  
felfedezték  
**EZT**  
a világot!



Ha eléggé messzire nézünk  
a térben,  
meglátjuk a hőhalált!



a fény véges  
sebessége miatt

Ha eléggé messzire nézünk  
a MÚLTBA,  
meglátjuk a hőhalált!

**a hőhalál nem LESZ,  
hanem VOLT**

**de az Univerzum feltámadt  
a hőhalálból!**



Mit jelent ez a  
„feltámadás”?

Egyetlen langyos  
hőtartály létezett

Ma pedig sok hideg  
és meleg test...

Ez ellentmond a  
termodinamika  
második főtételének!

Másodfajú  
örökmozgó...



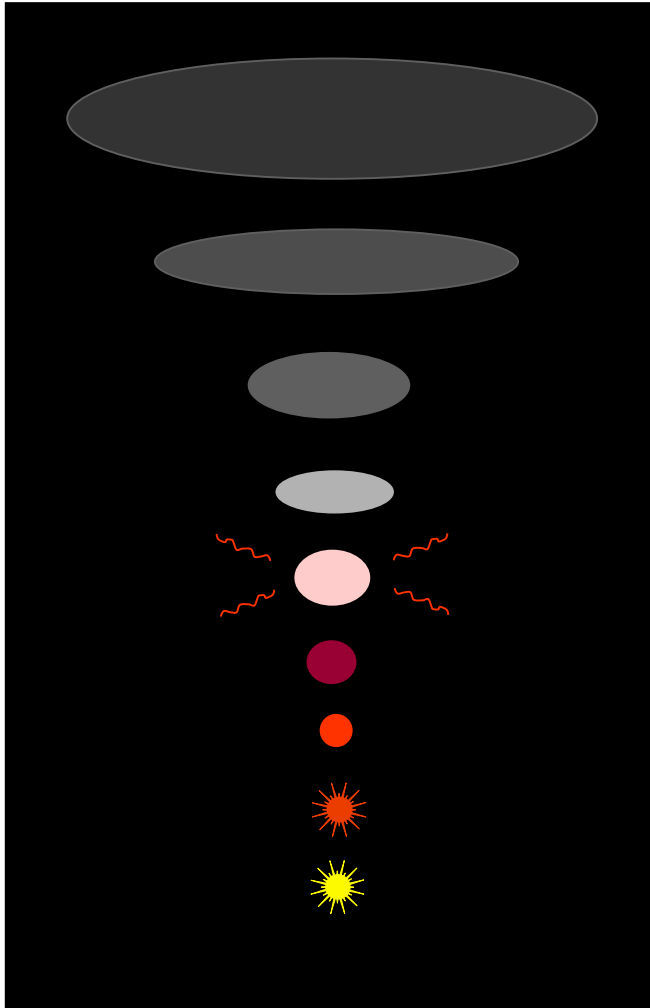
a hőhalál nem LESZ,  
hanem VOLT

de az Univerzum feltámadt  
a hőhalálból!

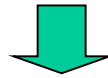


# egyszer már beszéltünk hasonló problémáról

## A csillagok keletkezése



hideg, ritka  
gázfelhő



langyos,  
sűrűbb  
gázfelhő

közben  
hősugárzás  
távozik el



forró,  
sűrű  
csillag,  
körülötte  
a hideg  
világűr

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

egyetlen hőtartályból  
kettő lesz, közben  
energiakibocsátás

a homogén masszából  
strukturált, térben  
rendezett állapot  
fejlődik ki!

ez a folyamat  
megvalósítja Pista bácsi  
szuperhajóját!

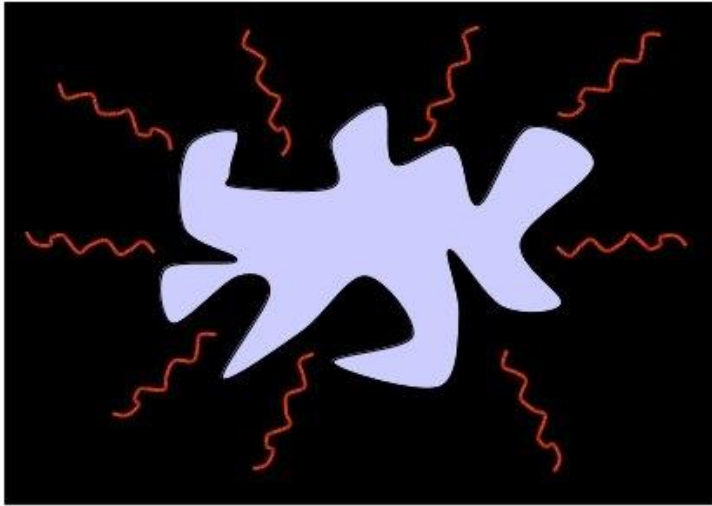
eszerint a  
csillagkeletkezésre nem  
érvényes a  
termodinamika második  
főtétele???

esetleg rosszul tudjuk a  
termodinamikát???



egyszer már beszéltünk hasonló problémáról

## A csillagok keletkezése

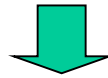


a megoldás:

a csillaggá  
fejlődő gázfelhő  
nem zárt rendszer

a másik hőtartály a  
távoli hideg világűr

hideg, ritka  
gázfelhő



langyos,  
sűrűbb  
gázfelhő

közben  
hősugárzás  
távozik el



forró,  
sűrű  
csillag,  
körülötte  
a hideg  
világűr

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

egyetlen hőtartályból  
kettő lesz, közben  
energiakibocsátás

a homogén masszából  
strukturált, térben  
rendezett állapot  
fejlődik ki!

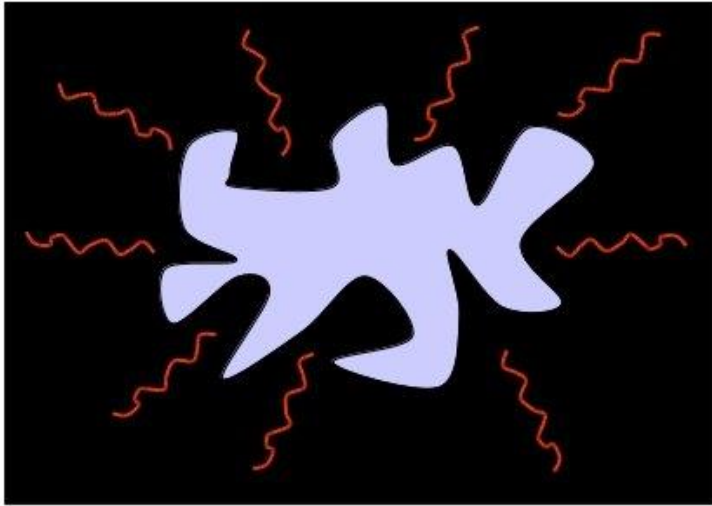
ez a folyamat  
megvalósítja Pista bácsi  
szuperhajóját!

eszerint a  
csillagkeletkezésre nem  
érvényes a  
termodinamika második  
főtétele???

esetleg rosszul tudjuk a  
termodinamikát???

egyszer már beszéltünk hasonló problémáról

## A csillagok keletkezése



a megoldás:

a csillaggá  
fejlődő gázfelhő  
nem zárt rendszer

a másik hőtartály a  
távoli hideg világűr

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

ez a megoldás az egész Univerzumra,  
az ősi tűzgömbre nem alkalmazható!

az ősi tűzgömb homogén,  
és kitölti az egész világot!

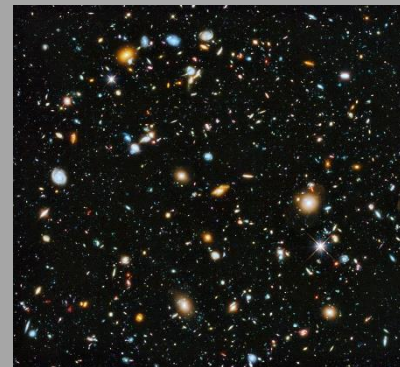
a világ mégis feltámadt a hőhalálból!

eszerint az ősi tűzgömbre  
nem érvényes a  
termodinamika második  
főtétele???

esetleg rosszul tudjuk a  
termodinamikát???

## A nagy fordulat:

1964-ben a  
rádiócsillagászok  
felfedezték  
EZT  
a világot!



Mit láttak pontosan?

A termikus  
egyensúlyban levő  
anyag hősugárzását

a „fekete fényt”

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

# Mi az a "fekete fény"?

**az atomos anyaggal termodinamikai  
egyensúlyban levő elektromágneses sugárzás**

**más néven "feketetest-sugárzás", "hőmérsékleti sugárzás"**

**Alapjelenség:** **a felmelegített szilárd testek sugárzást bocsátanak ki. Ha elég meleg a test, akkor ez a sugárzás látható fény lesz (hidegebb testnél infravörös).**

**"Mikroszkópikus",  
"végső" magyarázat:** **az anyag elektromosan töltött részecskékből áll. A gyorsuló töltések elektromágneses sugárzást bocsátanak ki.**

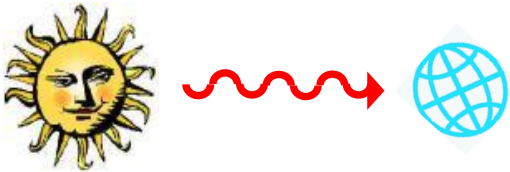
# Mi a fény?

A fény az anyag egyik fajtája

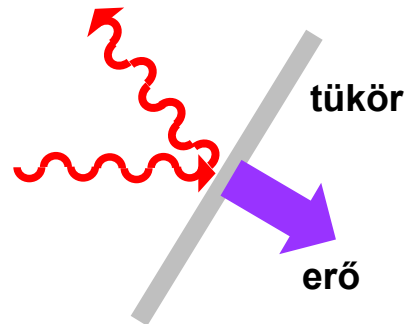
**A fény az első NEM ATOMOKBÓL álló anyagfajta,**  
amivel az emberiség találkozott

A fény is anyag, mert:

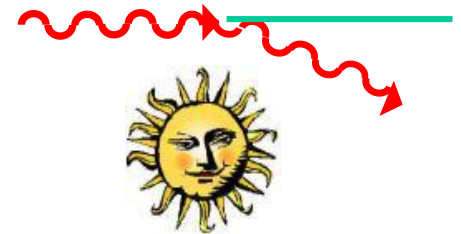
energiát hordoz



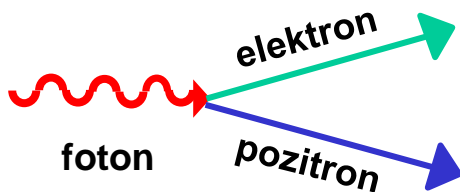
lendületet hordoz



hat rá a gravitáció



más anyaggá alakulhat



**további, nem atomokból álló anyagfajták:**

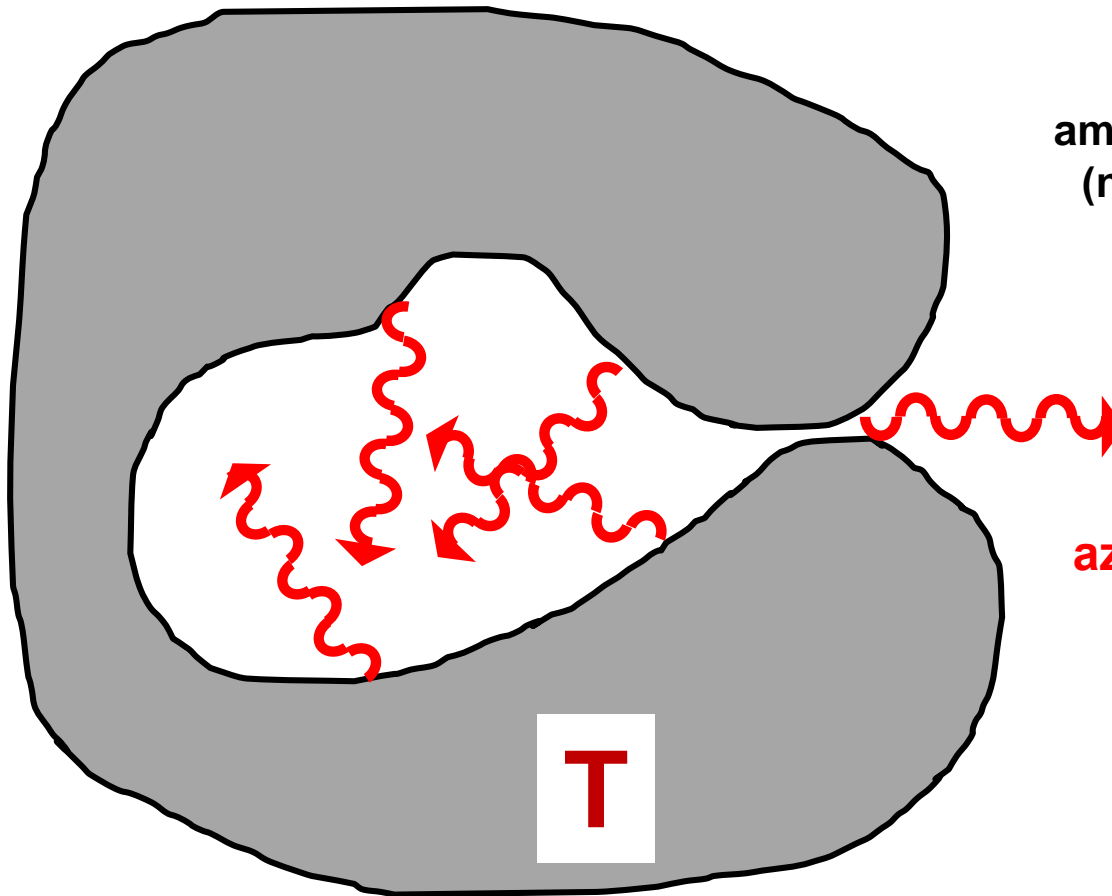
elektromos és mágneses mezők  
az atomok alkatrészei (elektron, kvark)  
már részecskék és mezők

# abszolút fekete

egy test vagy felület,  
ami nem **VER VISSZA** semmiféle fényt

ilyen test nem létezik!

de jól közelíti egy  
lyukas üreg belseje



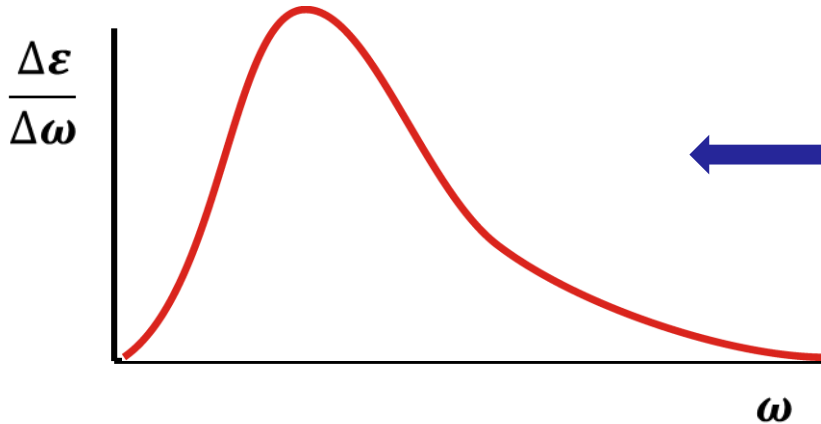
ami bemegy, bent marad  
(nincs visszaverődés)

ami kiszivárog  
a lyukon, olyan, mint az  
ideális fekete test  
sugárzása

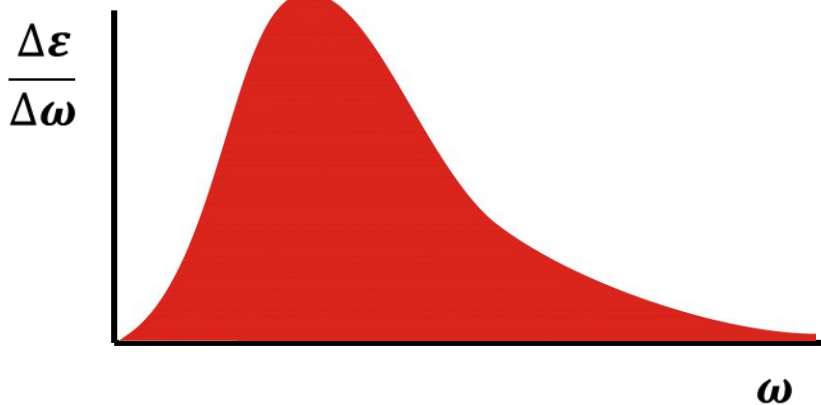
az üregből kibocsátott sugárzás  
megegyezik az ideális fekete  
test sugárzásával,  
független az üreg falának  
anyagi minőségétől,  
és csak az üreg falának  
T hőmérsékletétől függ

a sugárzási energia frekvencia szerinti eloszlásának képlete

$$\frac{\Delta \varepsilon}{\Delta \omega} = K \omega^3 f\left(\frac{\omega}{T}\right)$$



a mérési eredmény megfelelt a képletnek, de nem volt elméleti magyarázat



a görbe alatti terület:  
a sugárzás teljes energiasűrűsége

$$\varepsilon = a T^4$$

Ez a Stefan–Boltzmann-törvény

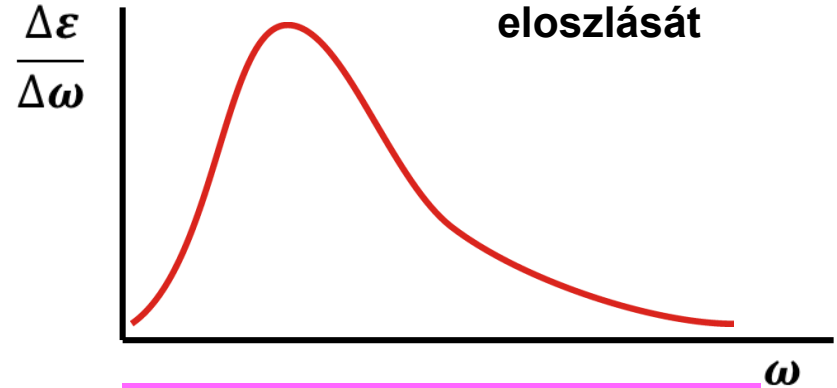




Max Planck (1858–1947)  
sikeresen függvényt illeszt  
a görbéhez:

Új idők:

1900 novemberében német  
fizikusok pontosan MEGMÉRIK  
a sugárzás frekvencia szerinti  
eloszlását



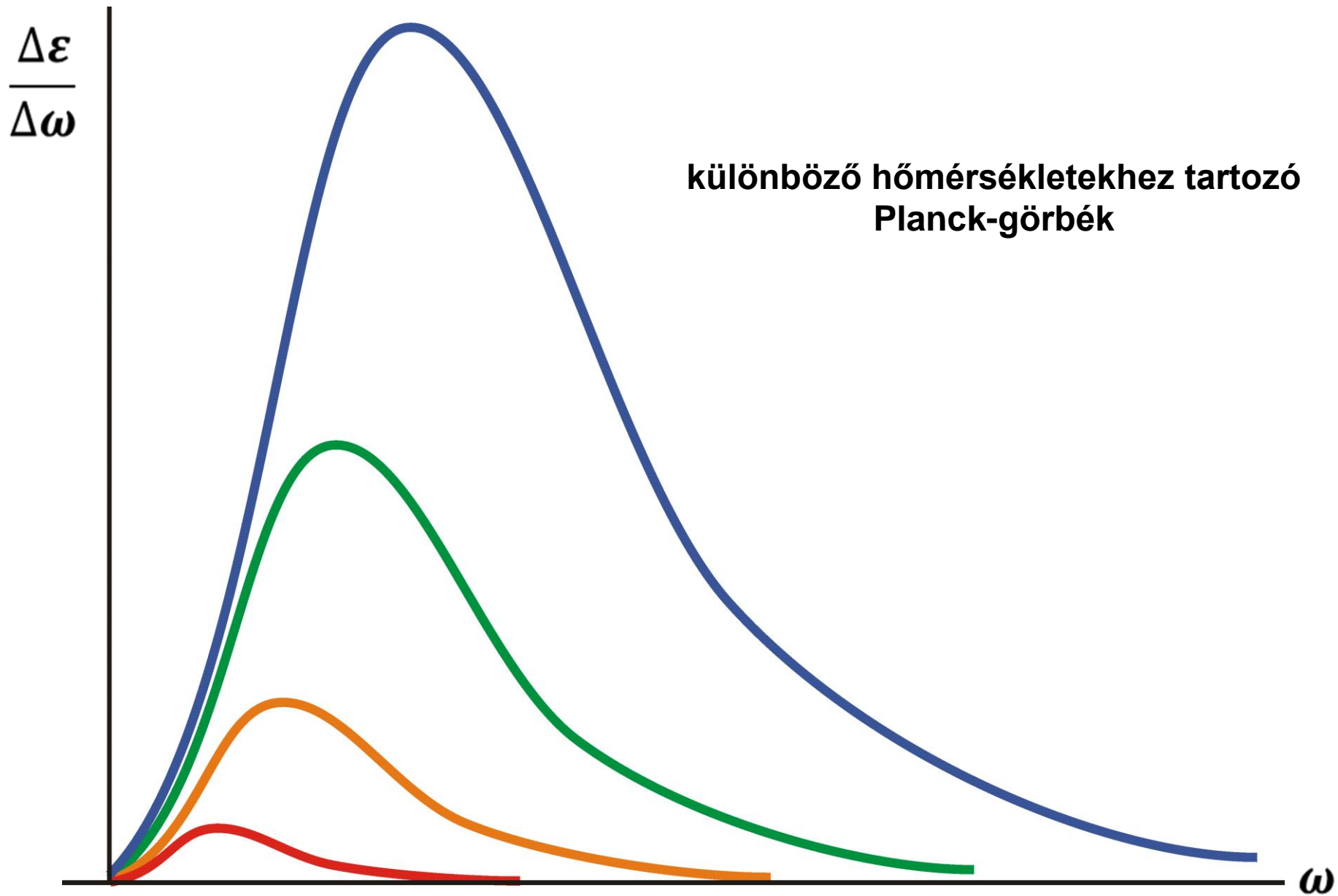
$$\frac{\Delta \varepsilon}{\Delta \omega} = K \frac{\omega^3}{e^{\frac{h\omega}{kT}} - 1}$$

ez a képlet jól leírja a kísérleteket  
de a klasszikus fizika alapján nem  
lehet megérteni

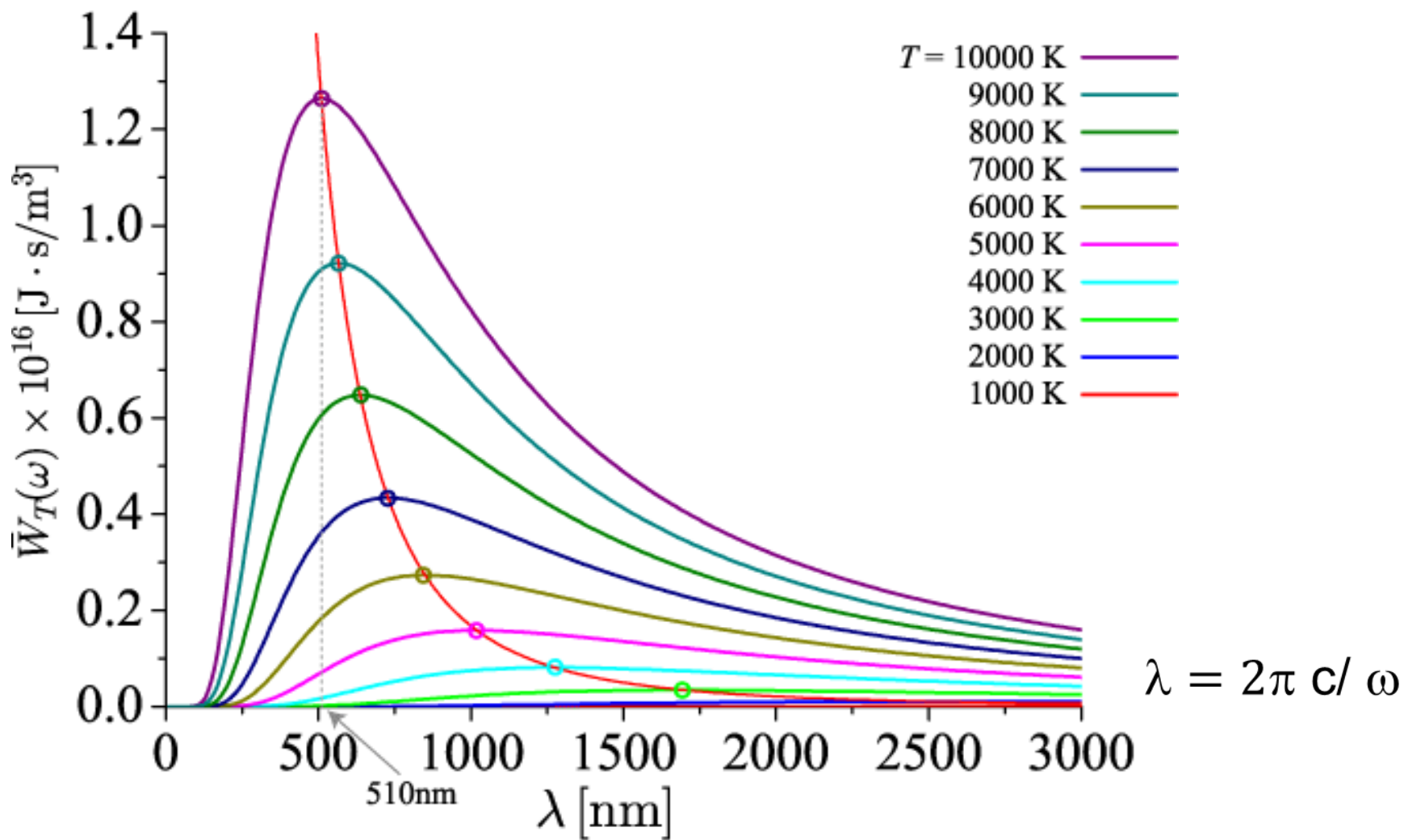
Planck ezért 1900. decemberében  
bevezeti a kvantumhipotézist

a klasszikus fizika recsegve  
összedől, és  
a fekete fény  
sugarával megvilágítva  
megkezdődik  
a modern fizika és a XX. század

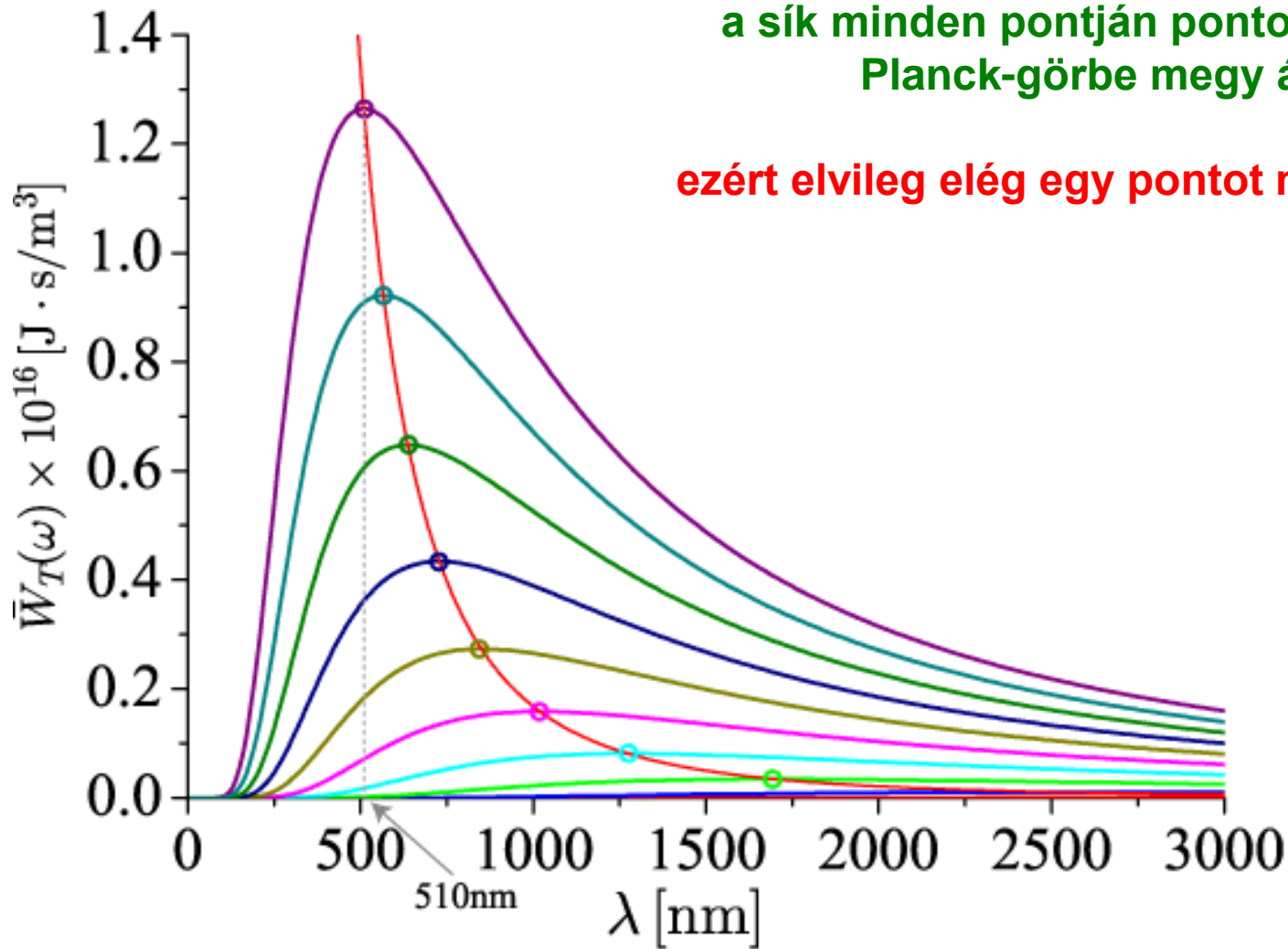




## a Planck-görbe a hullámhossz függvényében ábrázolva



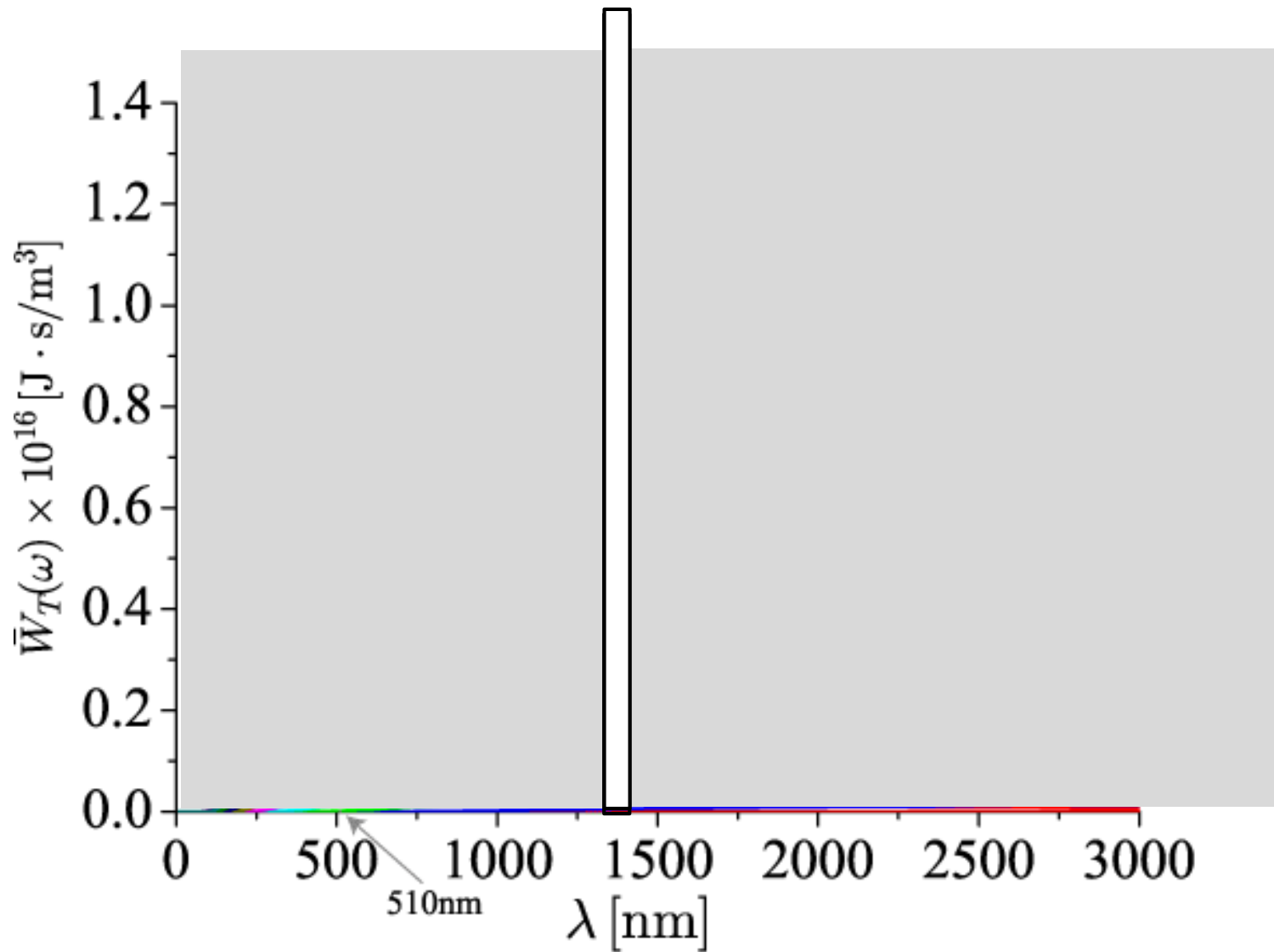
## vizsgálódás a légköri ablakon át



a sík minden pontján pontosan egy  
Planck-görbe megy át

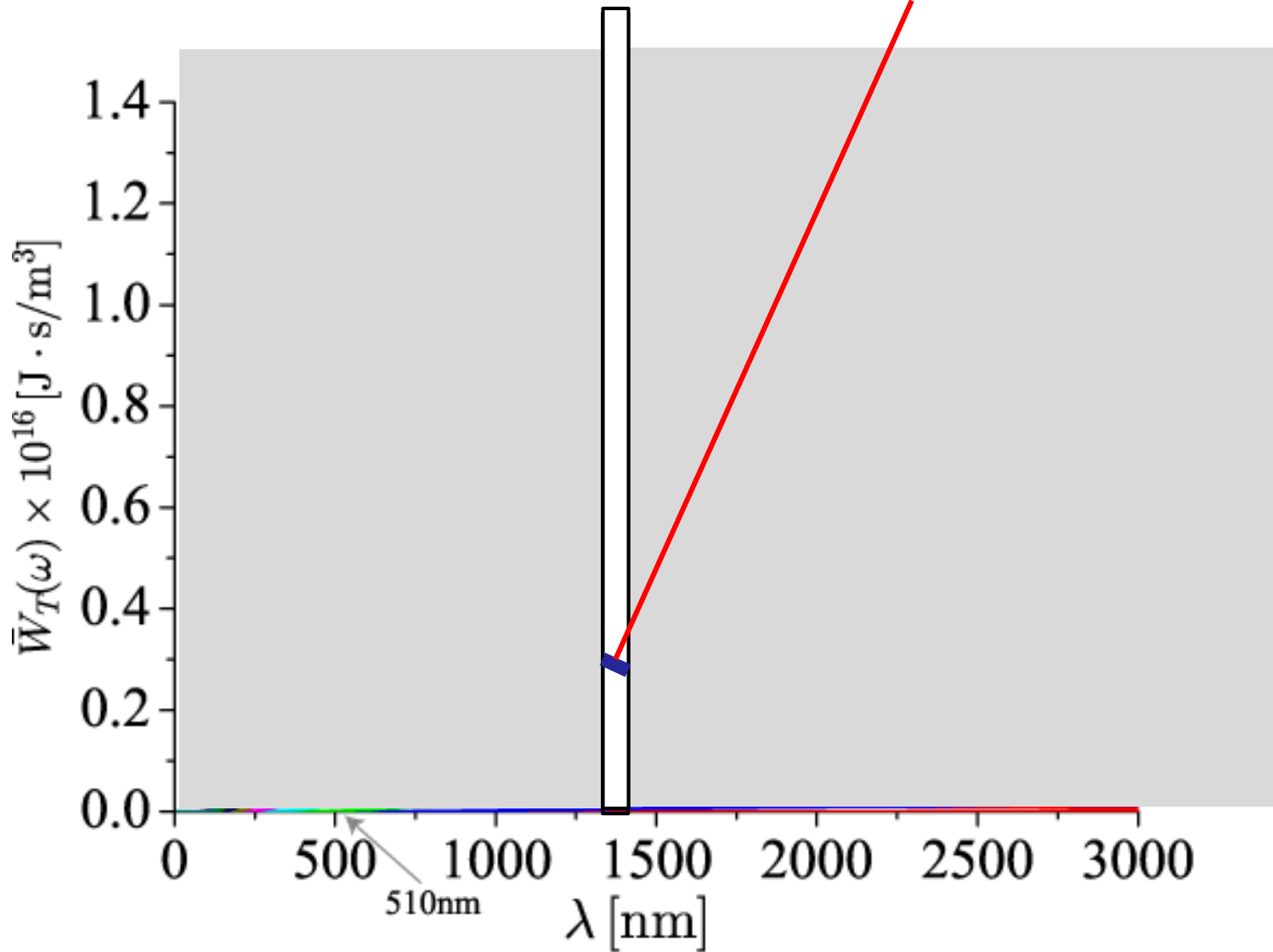
ezért elvileg elég egy pontot megmérni!

## vizsgálódás a légköri ablakon át



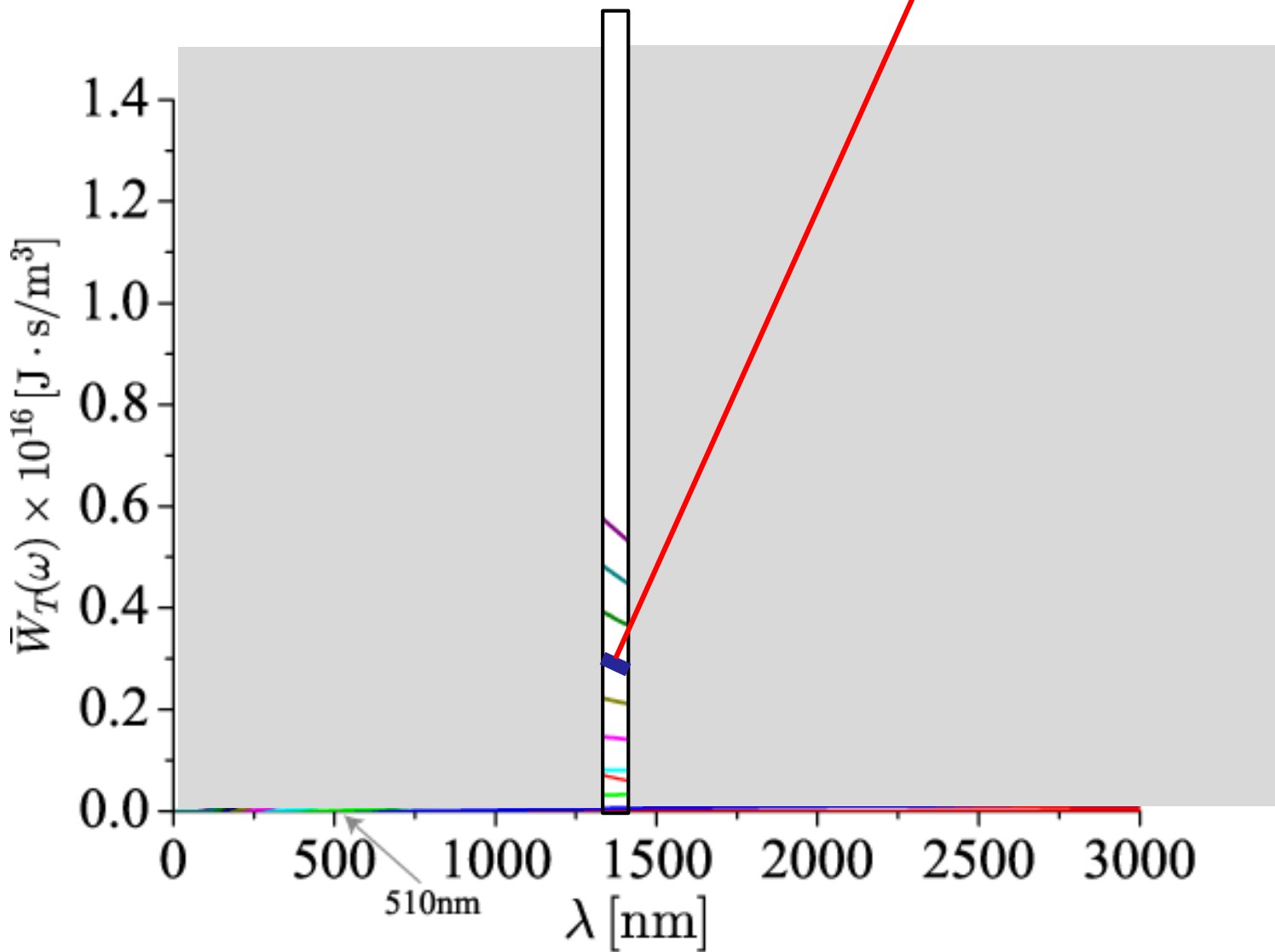
# vizsgálódás a légköri ablakon át

**MÉRÉS**



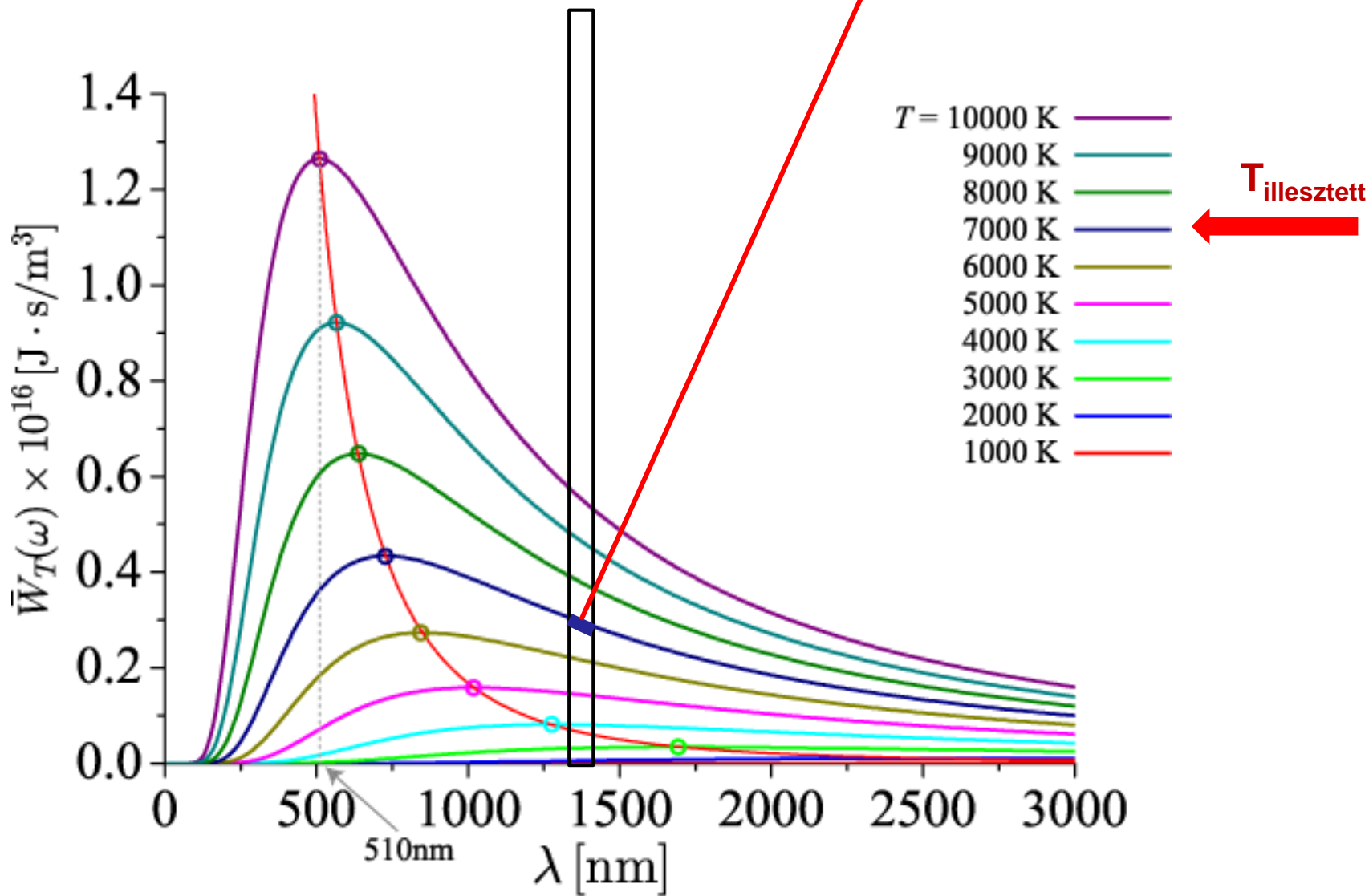
# vizsgálódás a légköri ablakon át

**MÉRÉS**

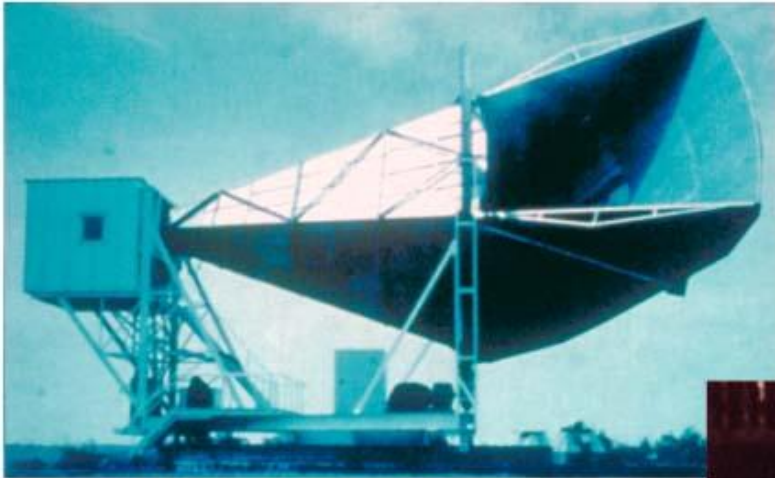


# vizsgálódás a légköri ablakon át

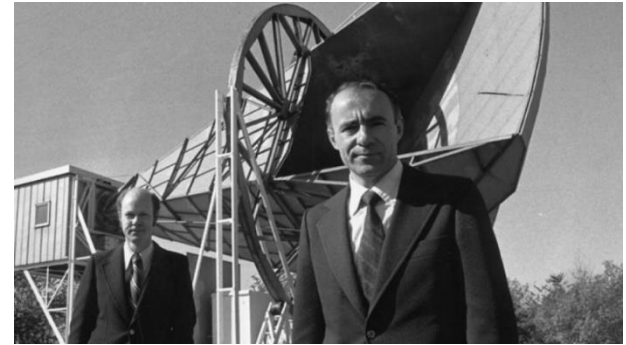
MÉRÉS



# DISCOVERY OF COSMIC BACKGROUND

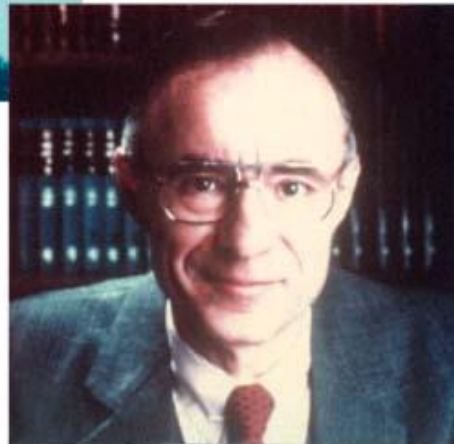


Microwave Receiver



MAP990045

Robert Wilson



Arno Penzias

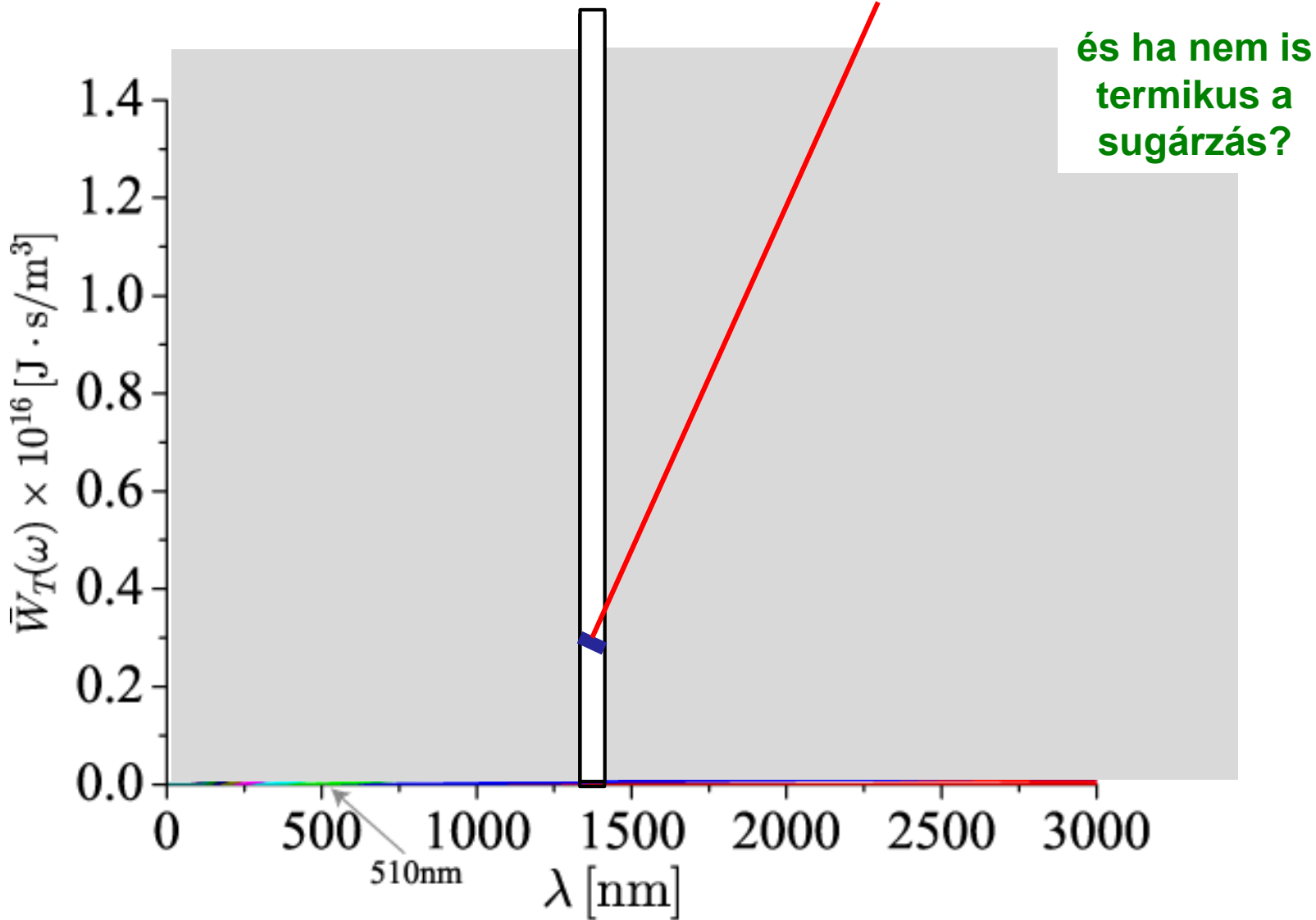
**Penzias és Wilson  
1964**

**Nobel-díj 1978**



# vizsgálódás a légköri ablakon át

**MÉRÉS**

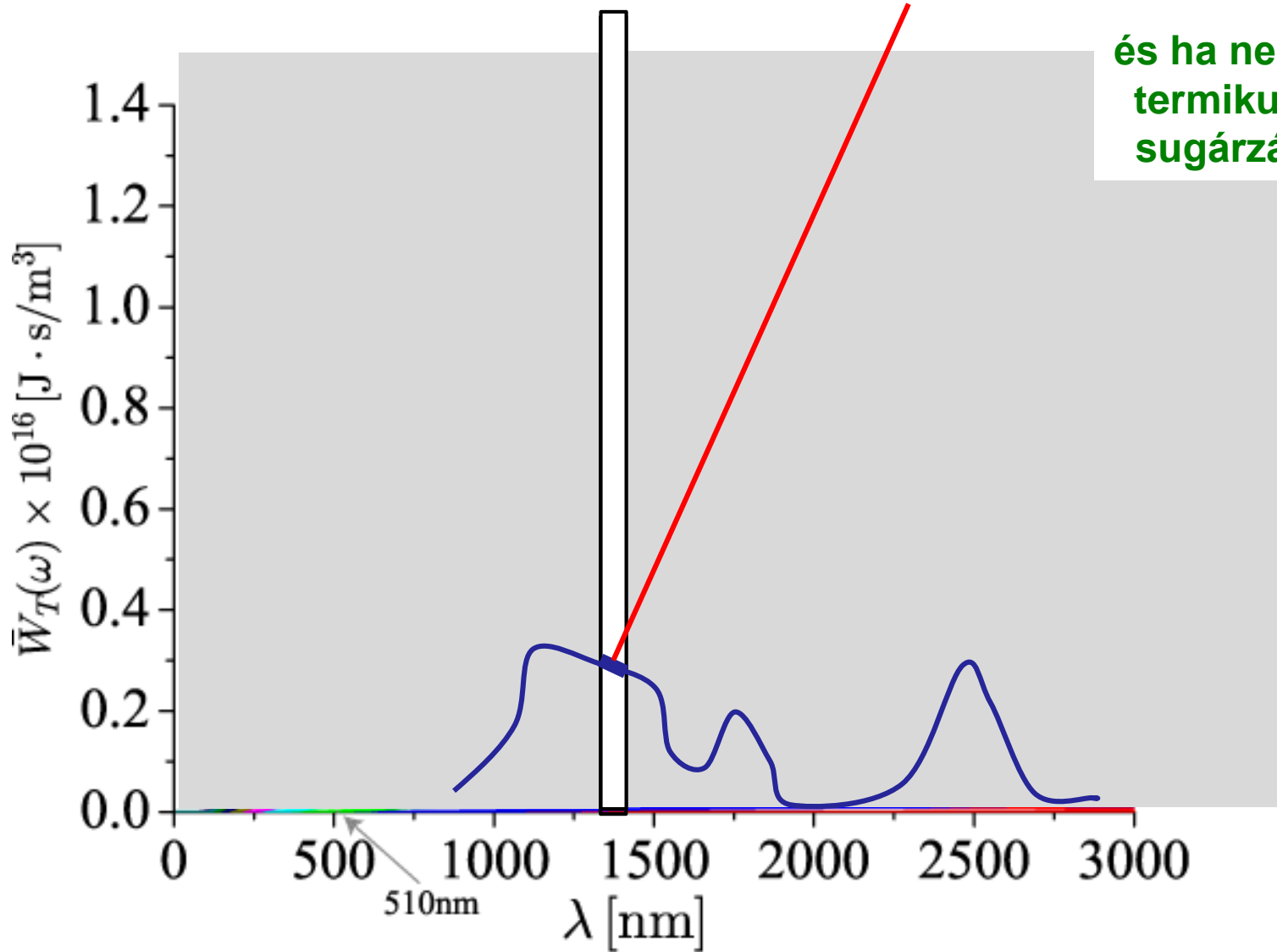


és ha nem is termikus a sugárzás?



vizsgálódás a légköri ablakon át

MÉRÉS

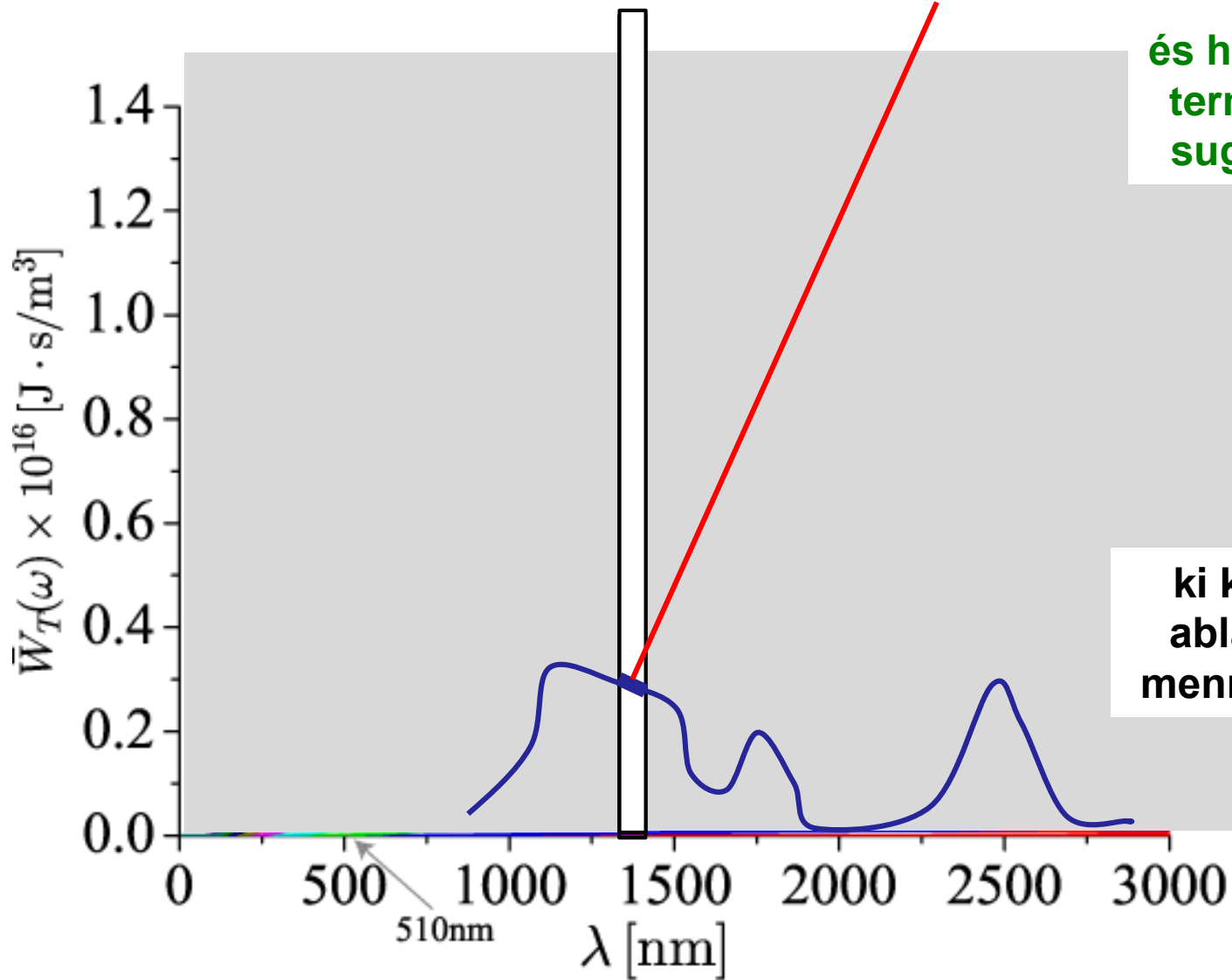


és ha nem is termikus a sugárzás?



# vizsgálódás a légköri ablakon át

**MÉRÉS**



és ha nem is termikus a sugárzás?

ki kell nyitni az ablakot, túl kell menni a légkörön!

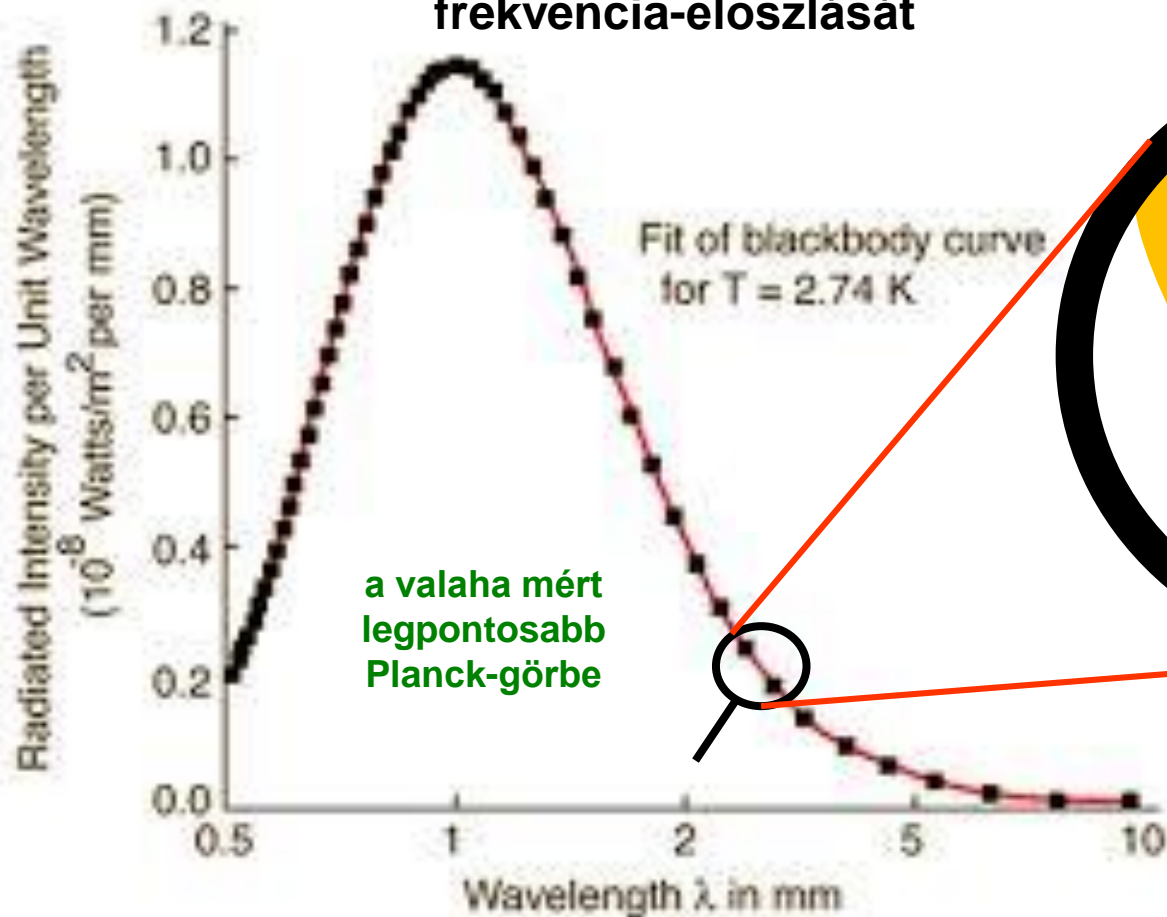
# A kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás (CMBR)

korábban a légkör elnyelése miatt csak egy kis szakaszt ismertünk

felfedezők: Penzias és Wilson 1964, 73,5 mm Nobel-díj 1978

a COBE műhold 1990-ben megmérte  
a kozmikus háttérsugárzás  
frekvencia-eloszlását

2006. évi fizikai Nobel-díj:  
George Smoot és John Mather



mérési pontok és  
mérési hibák  
a vonalvastagságon  
belül!

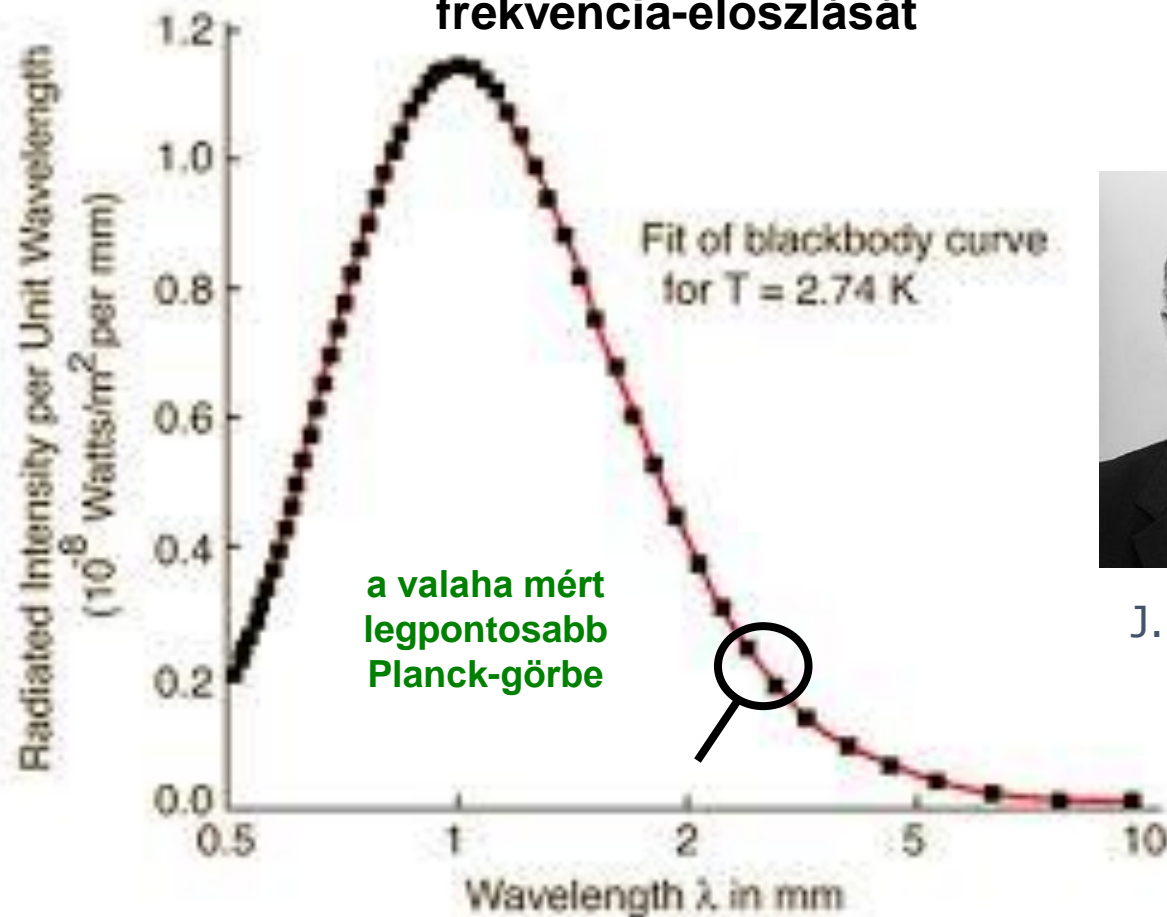
# A kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás (CMBR)

korábban a légkör elnyelése miatt csak egy kis szakaszt ismertünk

felfedezők: Penzias és Wilson 1964, 73,5 mm Nobel-díj 1978

a COBE műhold 1990-ben megmérte  
a kozmikus háttérsugárzás  
frekvencia-eloszlását

2006. évi fizikai Nobel-díj:  
George Smoot és John Mather

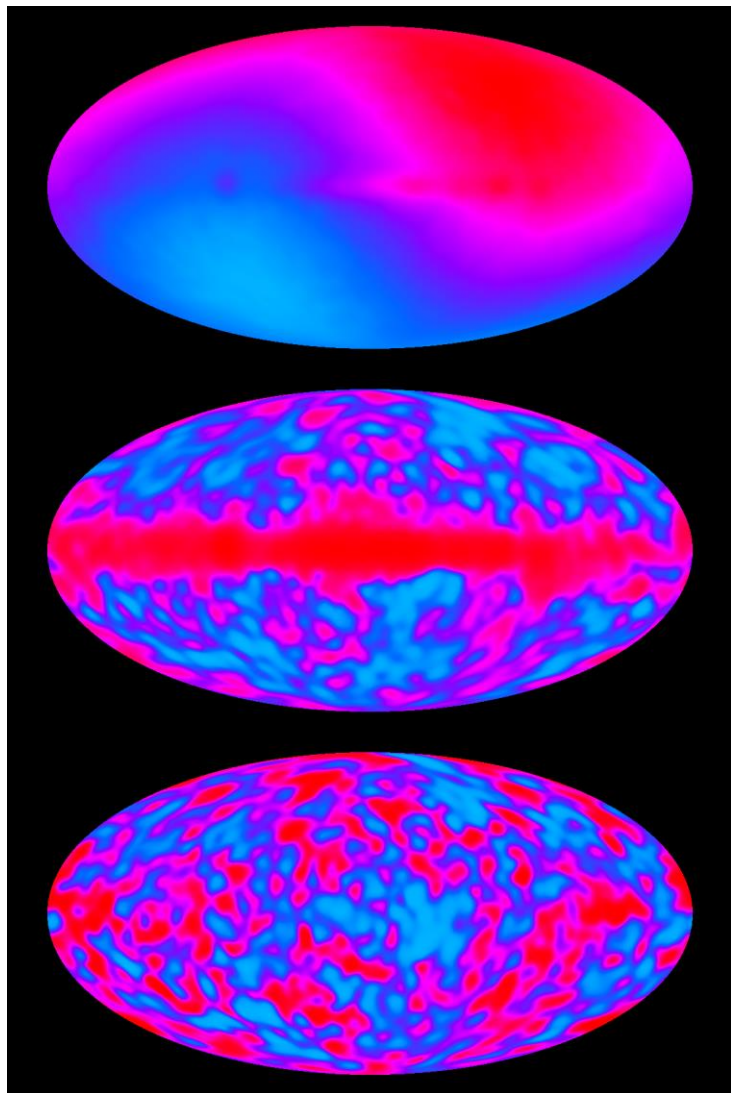


J. C. Mather



G. F. Smoot

# A kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás (CMBR)



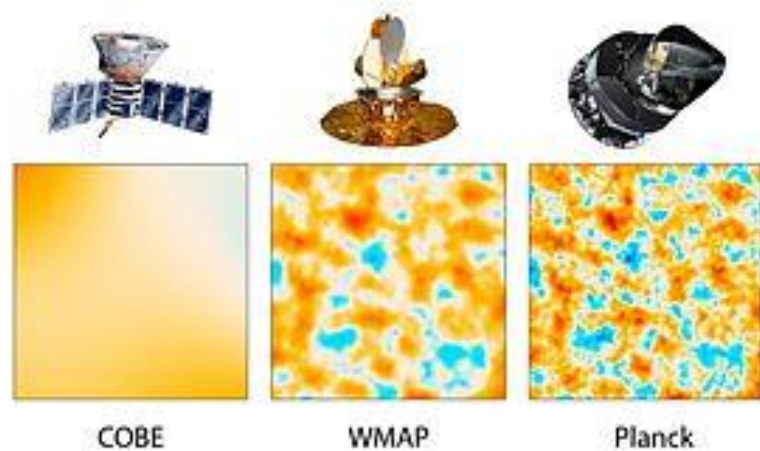
nagyon pontosan Planck-eloszlású

$$T = 2,72548 \pm 0,00057 \text{ K}$$

$$10^{-14} \text{ J/m}^3 \quad 450 \text{ foton/cm}^3$$

max intenzitás kb 1 mm hullámhossznál

a hőmérséklet-paraméter  
térbeli eloszlása az éggömbön  
(ezred százalékos ingadozás)



három műhold egyre finomabb  
térbeli felbontású mérései (1990–2010)

1965



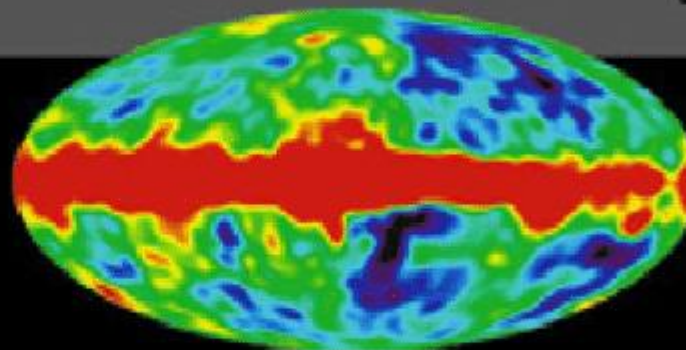
Penzias and  
Wilson



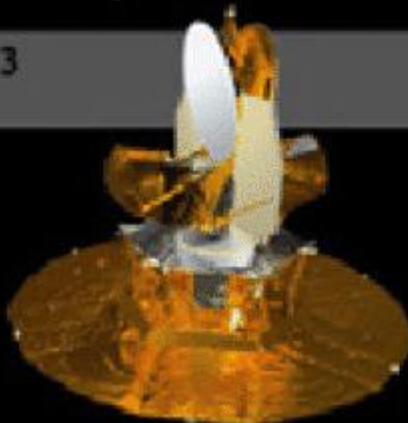
1992



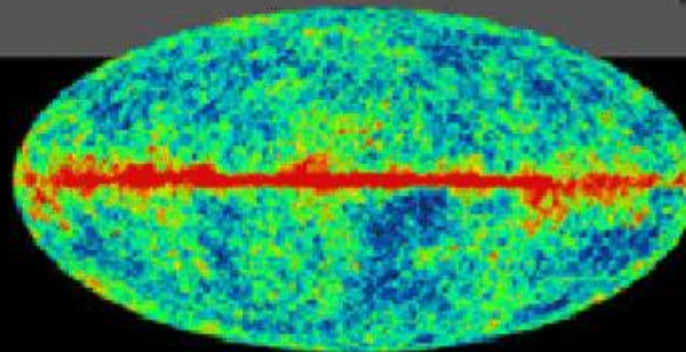
COBE



2003



WMAP



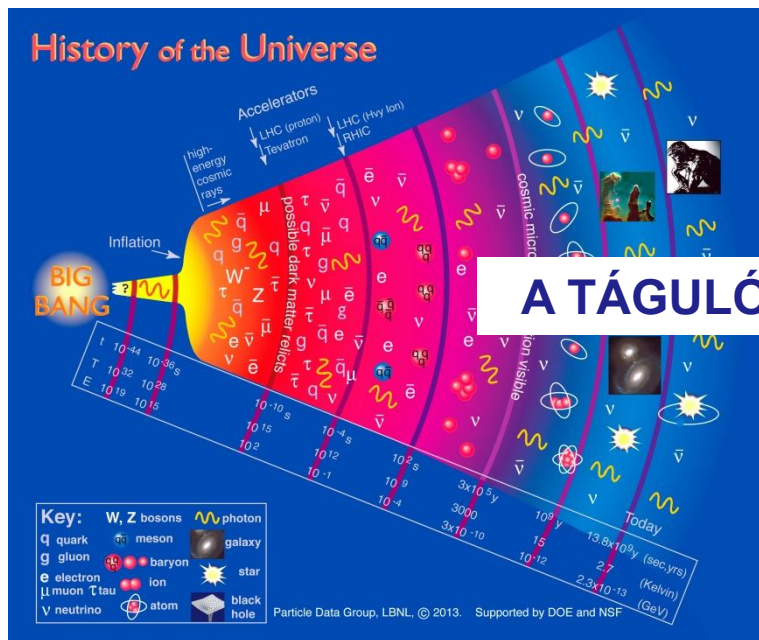
No de hol van  
 az a **2,7 K** hőmérsékletű szilárd test,  
 amivel a kozmikus háttérsugárzás  
 egyensúlyban van?

**MA az Univerzumban  
 sehol nem találunk  
 ilyet!**

a mai háttérsugárzás **13,8 milliárd évvel  
 ezelőtt volt egyensúlyban**  
 egy kb **3000 K** hőmérsékletű anyaggal

De akkor még nem  
 ilyen hideg volt, hanem  
 sok ezer fokos

A sugárzás lehűlt,  
 mert az Univerzum  
 tágul!



Az Univerzum tágulásáról: dgy:  
**Határtalan (?) Világegyetem**  
 Atomcsill, 2018.11.12

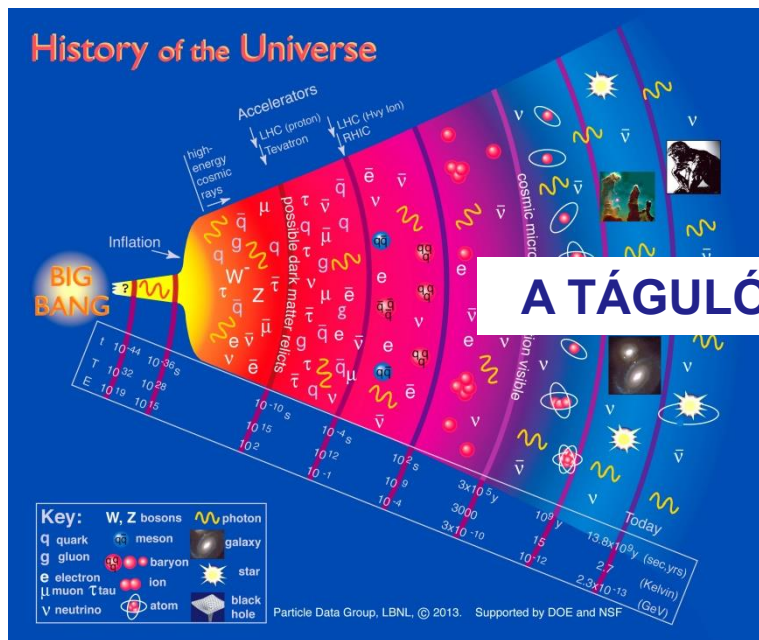


No de hol van az a 2,7 K hőmérsékletű szilárd test, amivel a kozmikus háttérsugárzás egyensúlyban van?

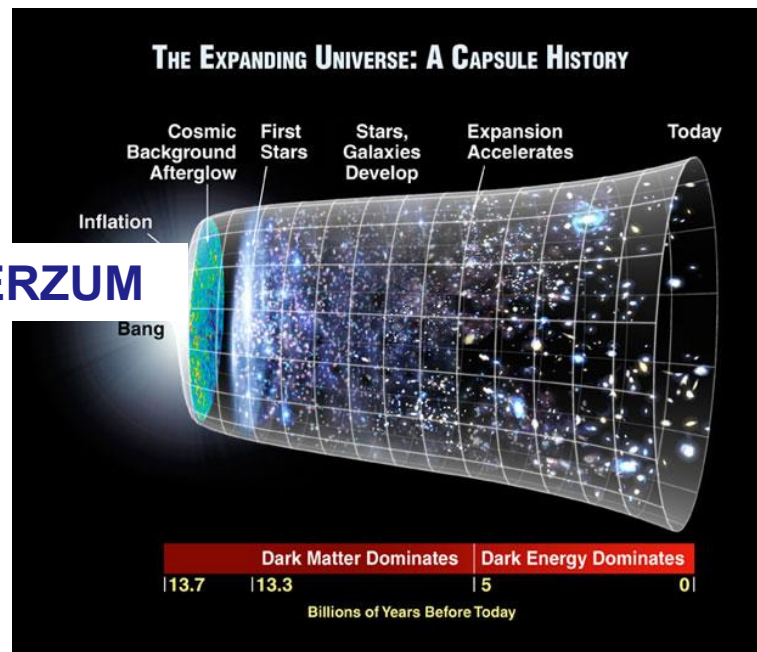
MA az Univerzumban sehol nem találunk ilyeneket!

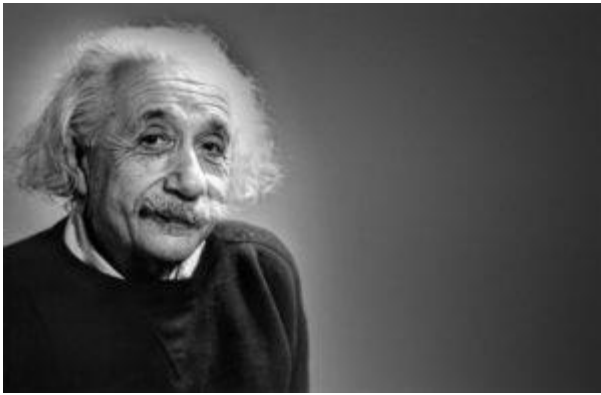
a mai háttérsugárzás 13,8 milliárd évvel ezelőtt volt egyensúlyban egy kb 3000 K hőmérsékletű anyaggal

De akkor még nem ilyen hideg volt, hanem sok ezer fokos

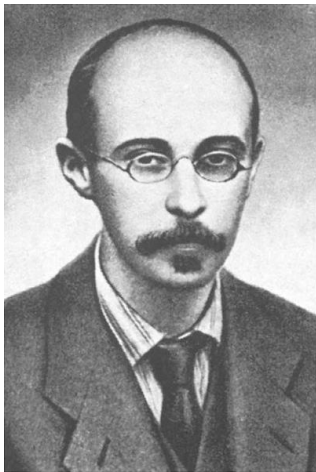


A TÁGULÓ UNIVERZUM





**Albert Einstein**  
(1879-1955)



**Alekszandr Fridman**  
(1888-1925)

## Új fizika a 20. század elején

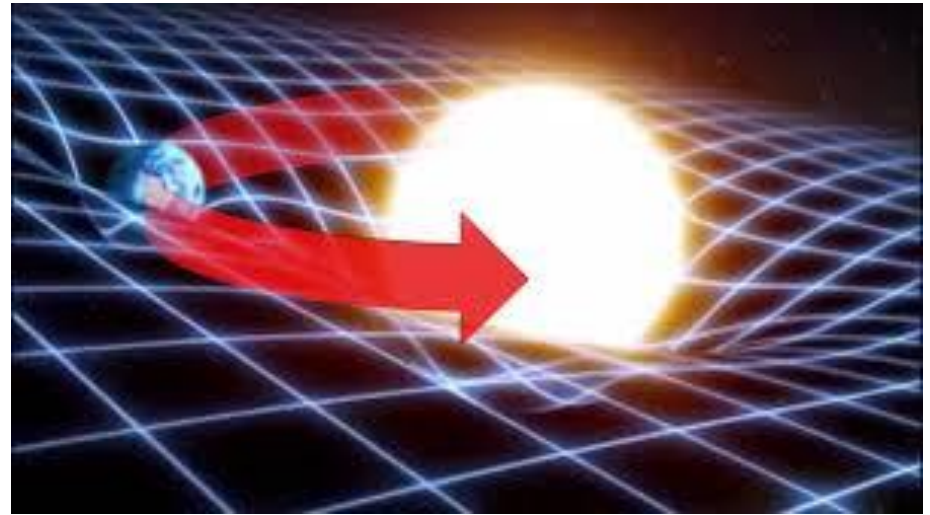
speciális relativitáselmélet:  
1905

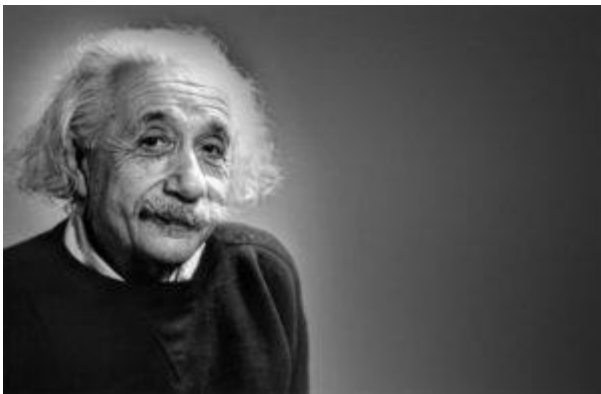
$$E=mc^2$$

általános relativitáselmélet:  
1915



a gravitáció új, pontosabb elmélete  
a gravitációs jelenségeket a téridő görbülete  
magyarázza





**Albert Einstein**  
(1879-1955)



**Alekszandr Fridman**  
(1888-1925)

## Új fizika a 20. század elején

speciális relativitáselmélet:  
1905

$$E=mc^2$$

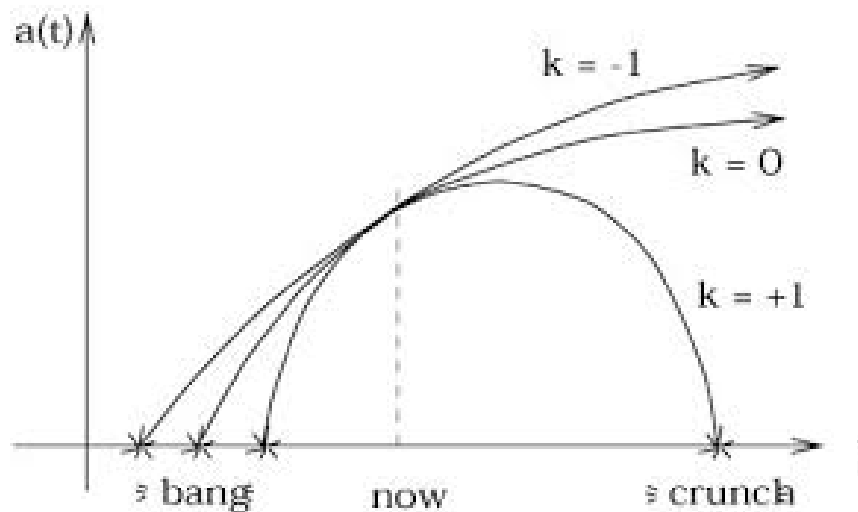
általános relativitáselmélet:  
1915



a gravitáció új, pontosabb elmélete

a gravitációs jelenségeket a téridő görbülete  
magyarázza

az Univerzum  
tágulása

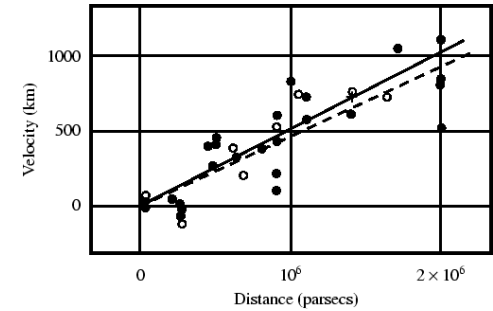




Edwin Hubble  
(1889-1953)

Hubble 1929-ben felfedezte, hogy a galaxisok távolodnak.

azaz az Univerzum tágul



A Bruno-féle  
sztatikus világmodellnek  
vége!

Einstein elismerte, hogy  
Fridmannak volt igaza.



Einstein, Hubble és a távcső,  
1929

## Fizikai kozmológia

Gamow 1948



George Gamow  
1904–1968

vegyük komolyan a táguló  
Világegyetem geometriai modelljét!

Játsszuk visszafelé a tágulás filmjét!



Az anyag összesűrűsödik  
és felmelegszik

Az ősi Univerzum **FORRÓ** volt!

a forró anyag hőszugárzást  
bocsátott ki



ez a sugárzás ma is itt van  
velünk, csak lehűlt

Gamow megjósolta a  
háttérsugárzást



ezt találta meg Penzias és Wilson,  
majd a későbbi űrszondák

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



**No de MI VOLT**  
az a 13 milliárd évvel ezelőtti,  
3000–10000 K hőmérsékletű  
szilárd test, amivel a kozmikus  
háttérsugárzás egyensúlyban volt?

Ilyen test sem  
létezett!

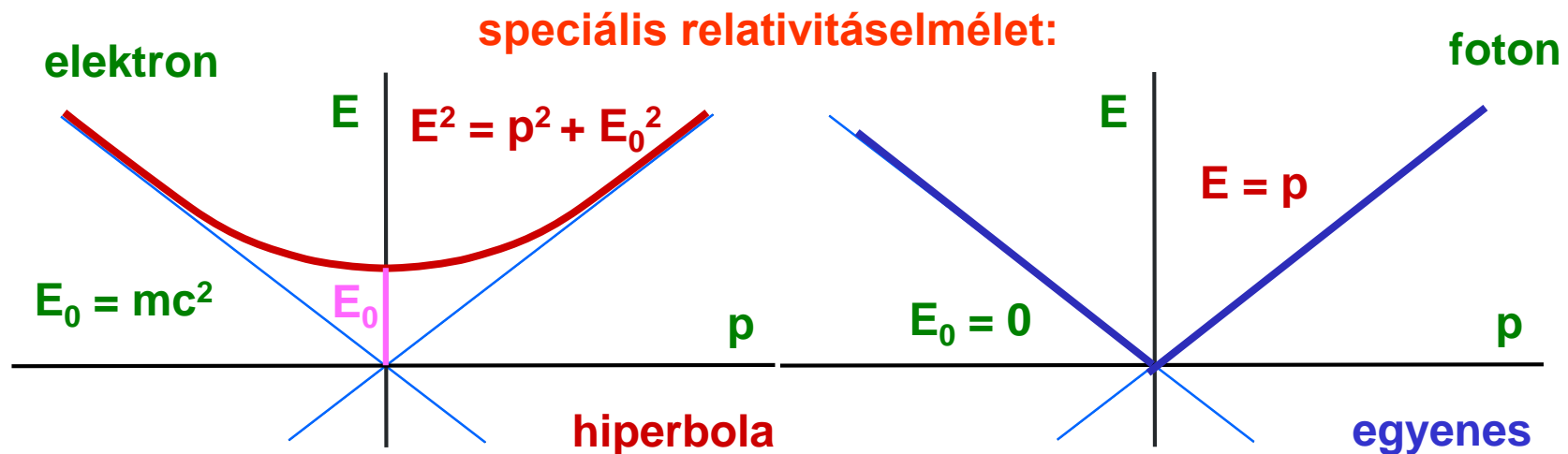
Hát akkor mi játszotta a fal  
vagy a szilárd  
koromszemcse szerepét?

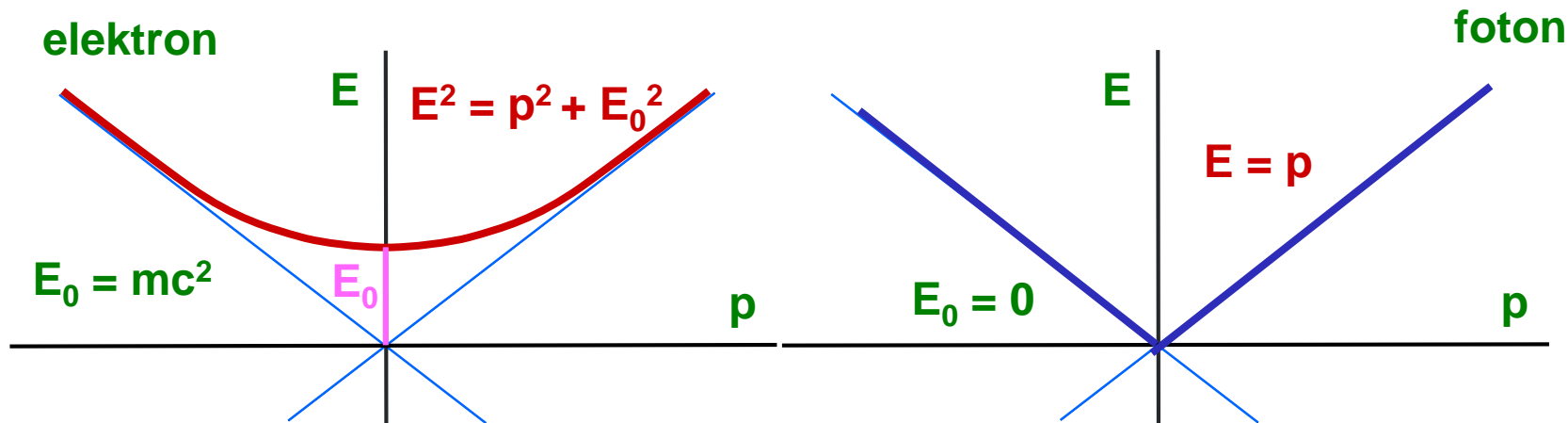
**MENTŐKÉRDÉS:**

Miért éppen fotonokból áll a hősugárzás?  
Miért nem pl. elektronokból vagy müonokból?

**VÁLASZ:** fotont könnyű csinálni,  
mert nulla a tömege!

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





elektronra:  $2 mc^2 = 1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$

$E = kT$

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

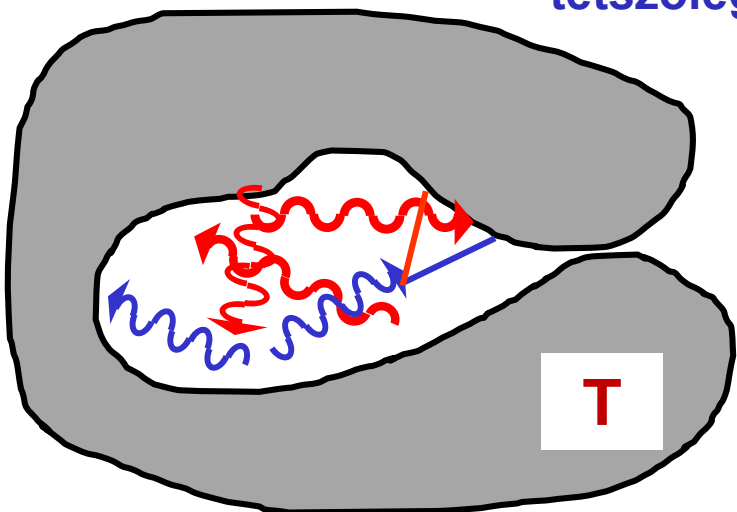
tehát egy elektron–pozitron pár keltéséhez  $10^{10} \text{ K}$  hőmérséklet kell

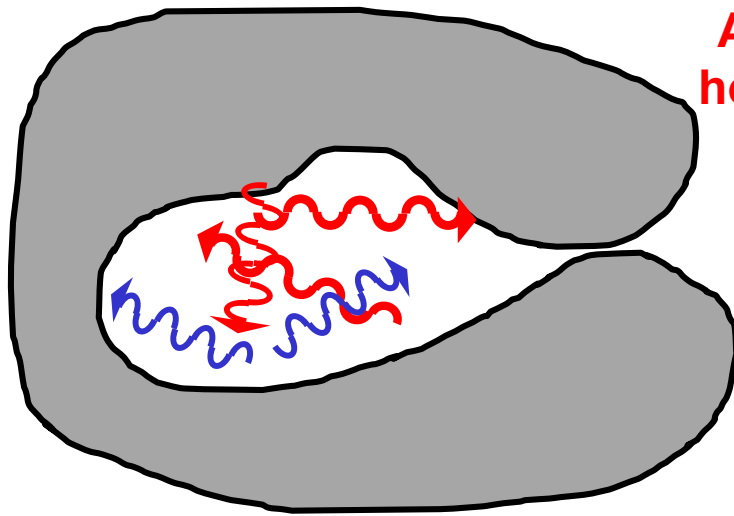
ezzel szemben a foton ingyen van, nincs küszöbenergiája,  
tetszőlegesen kis hőmérsékleten keletkezhet

így közönséges hőmérsékleten  
a hősugárzás csak fotonokból áll

de ha a fal hőmérséklete eléri a tízmilliárd fokat,  
a hősugárzásban a fotonok mellett megjelennek  
az elektron–pozitron párok is!

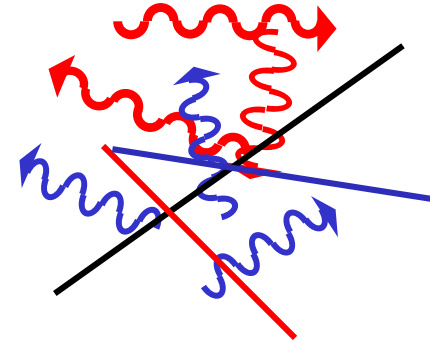
**HOPPÁ! A fal már jóval kisebb  
hőmérsékleten elolvad, majd elpárolog...**





szilárd test és a vele  
egyensúlyban levő fotongáz

A fal már jóval kisebb  
hőmérsékleten elolvad,  
majd elpárolog...



plazma: egyensúlyban levő töltött  
részecskék és fotonok gáza

Nagy hőmérsékleten megszűnik a fal és a sugárzás kettőssége:  
egyensúlyban levő homogén massa alakul ki.  
Még nagyobb hőmérsékleten a sugárzás már nemcsak energiát ad  
át az anyagnak, hanem más részecskékké alakul:  
az anyag azonossá válik a saját hősugárzásával!

Ilyen egyensúlyi plazma (az "Ősi Tűzgömb")  
töltötte ki az Univerzumot a Nagy Bumm utáni  
első 380 000 évben



Ilyen egyensúlyi plazma ("az Ősi Tűzgömb")  
töltötte ki az Univerzumot a Nagy Bumm utáni  
első 380 000 évben

Az Univerzum tágulása során a plazma  
hőmérséklete fokozatosan csökkent.

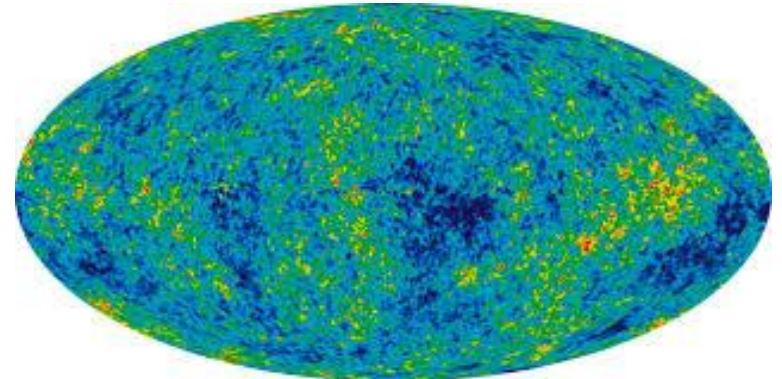
360 000 év után elég hideg lett, és létrejöttek az atomok.  
Az atomos gáz átlátszó! Nem nyeli el a fényt...

Megszűnt az atomos anyag és a sugárzás kölcsönhatása. Ez a "lecsatolódás".

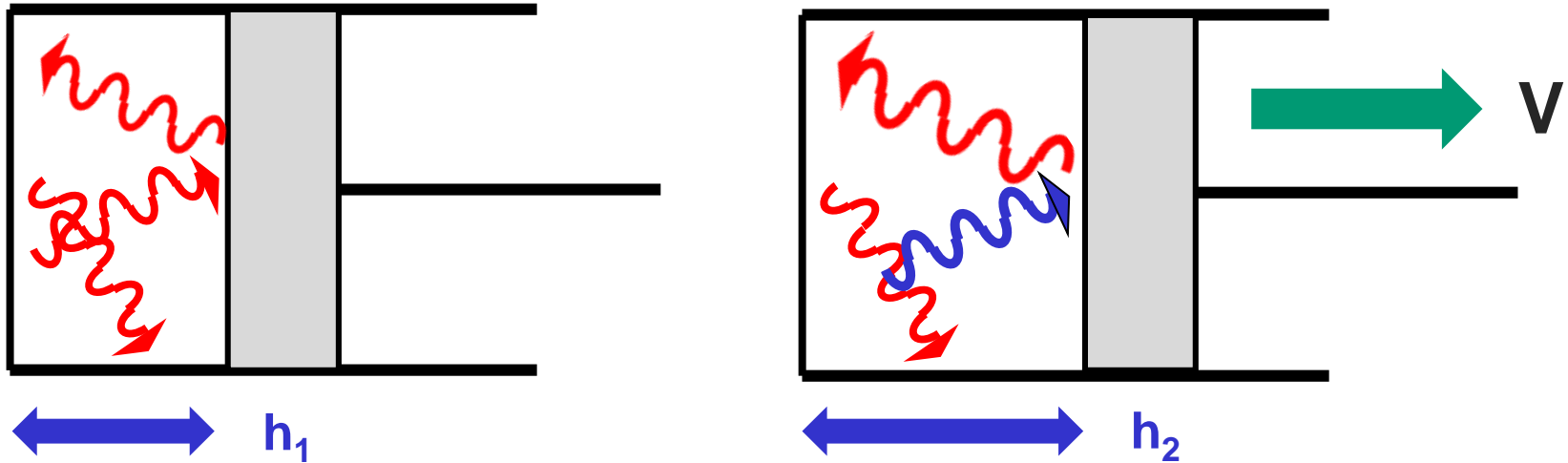
A sugárzás tágult és hűlt, önmagával egyensúlyban.

Ma 2,7 K hőmérsékletű Planck-görbét követ,  
de nincs egyensúlyban semmivel.  
Ő az Univerzumot betöltő FEKETE FÉNY.

De a hőmérséklet-különbségek finom mintázatában  
megőrizte a plazma élete utolsó pillanatában,  
közvetlenül öngyilkossága előtt készített utolsó  
SELFIE-jét...



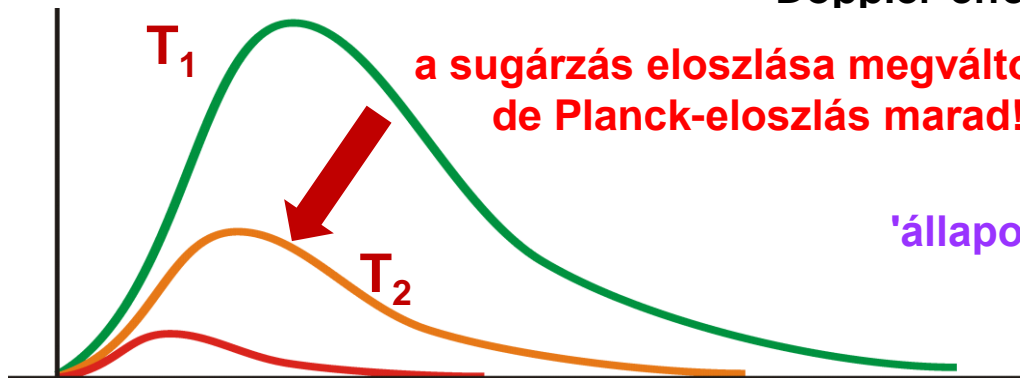
adiabatikus (hőcsere nélküli) tágulás



Planck-eloszlású sugárzás  
tükröző falú dugattyús hengerben

a dugattyú lassú mozgásakor  
a visszaverődő fény  
Doppler-effektust szenved

a hullámhossz  
arányos az üreg  
h méretével



'állapotegyenlet':

$$T_1 h_1 = T_2 h_2$$

adiabatikus (hőcsere nélküli) tágulás

'állapotegyenlet':

$$T_1 h_1 = T_2 h_2$$

$$T \sim \frac{1}{h}$$

egy foton energiája:

$$e \sim \omega \sim \frac{1}{\lambda} \sim \frac{1}{h} \sim T$$

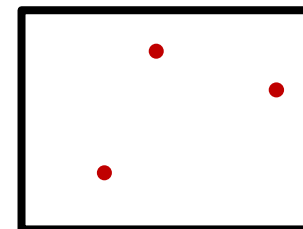
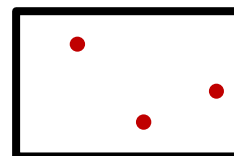
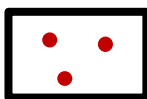
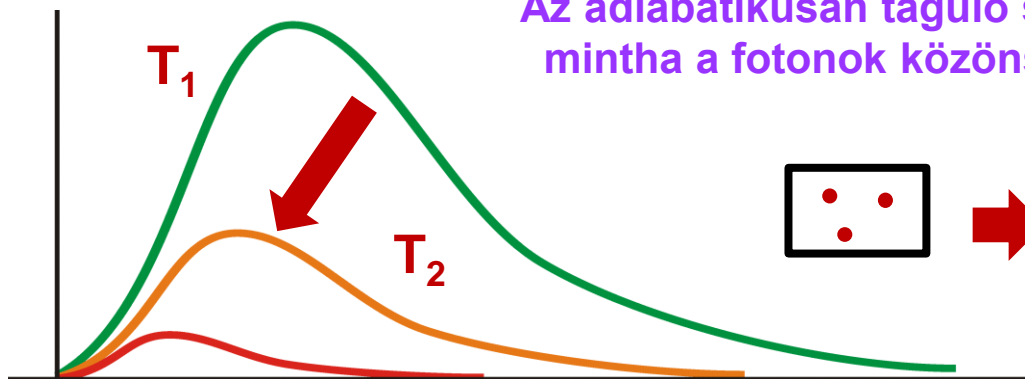
a sugárzás energiasűrűsége  
(Stefan-Boltzmann-törvény)::

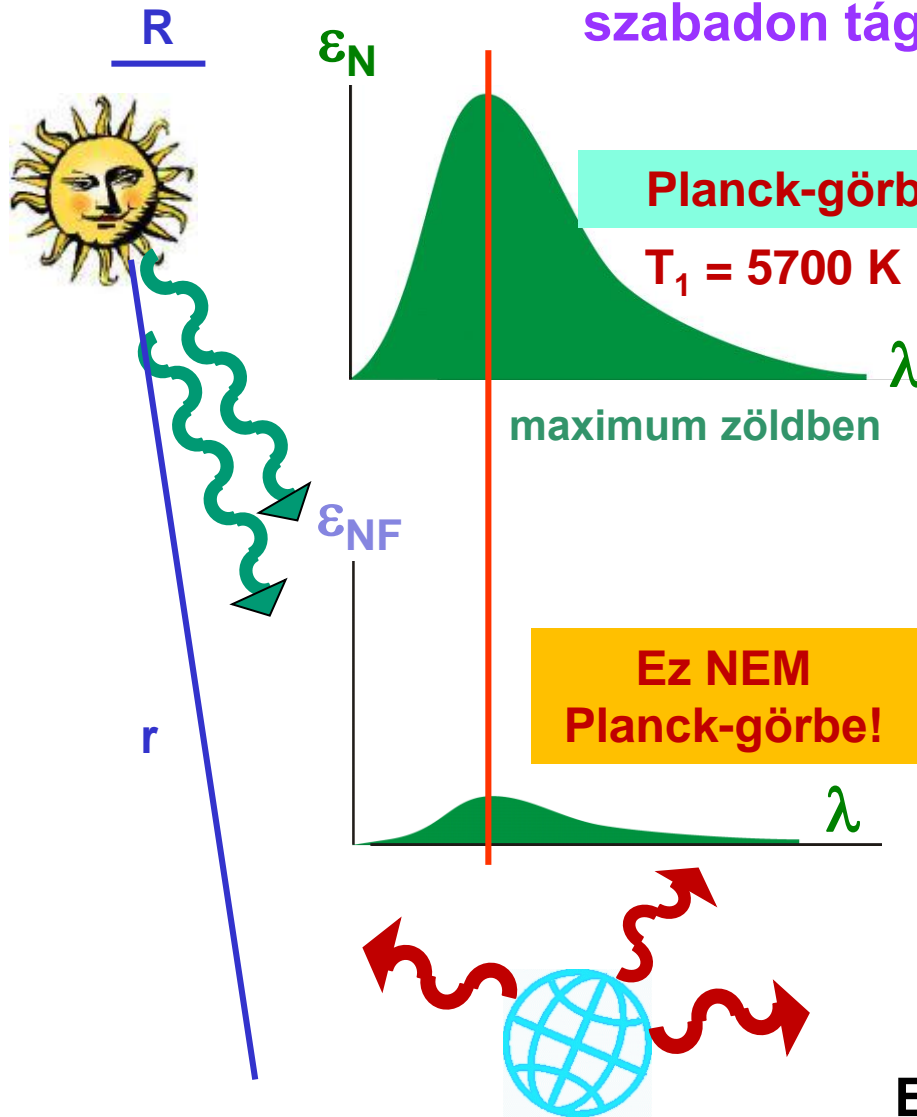
$$\varepsilon \sim \frac{E}{V} \sim T^4$$

hány foton van a hengerben?

$$N \sim \frac{E}{e} \sim \frac{VT^4}{T} \sim VT^3 \sim h^3 T^3 \sim (hT)^3 \sim \text{const}$$

Az adiabatikusan táguló sugárzásban a fotonszám állandó:  
mintha a fotonok közönséges gázrészecskék lennének...





$$\epsilon_{NF} = \epsilon_N \frac{R^2}{r^2}$$

"geometriai" tágulás

A Földre érkező, "kitágult", felhígult napsugárzás **NEM TERMIKUS**, nincs hőmérséklete!

a Föld (vagy akár egy porszem!) "termalizálja" a sugárzást



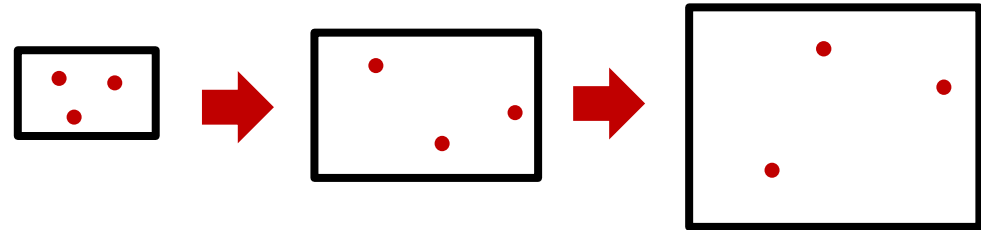
## az Univerzum tágulása

Itt nincs fal, nincs tükör –  
azt gondolhatjuk, hogy a jelenség  
a Nap sugárzásának  
szabad tágulásához hasonlít.

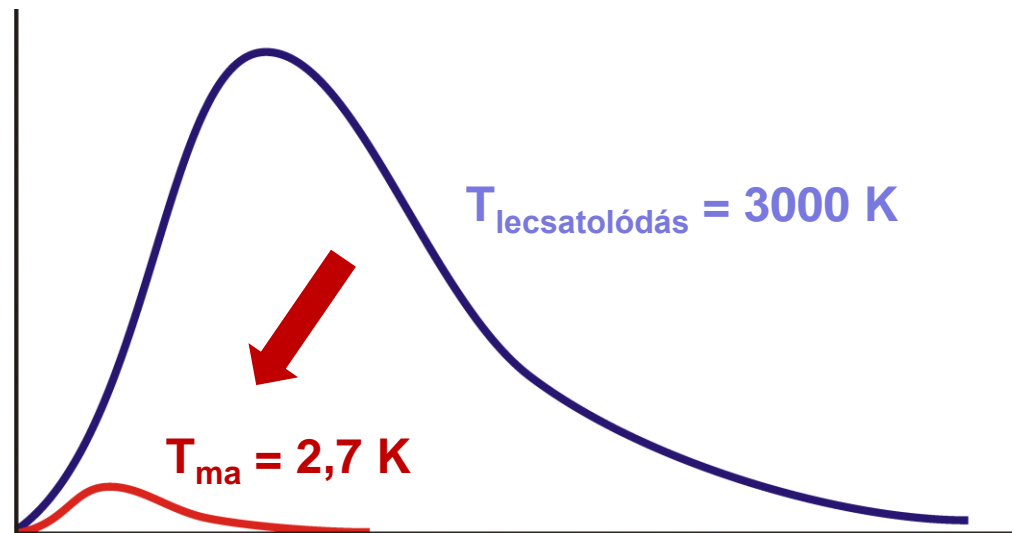
Ezzel szemben  
az általános relativitáselméletből  
levezethető, hogy pontosan azok a  
képletek érvényesek,  
mint a dugattyús kísérletnél!

azaz a tágulás során a  
fotonszám megmarad

az egyes fotonok  
hullámhossza pedig az  
Univerzum méretével  
arányosan nő



Ma nincs 2,7 K hőmérsékletű szilárd  
anyag az Univerzumban, amivel a  
sugárzás egyensúlyban lenne.  
De az Univerzummal együtt táguló  
sugárzás önmagában is  
egyensúlyban marad!



# Az ősi tűzgömb

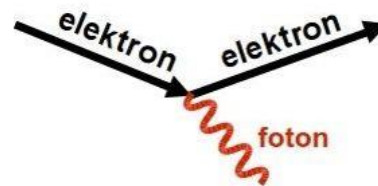
Minden elemi részecske jelen van

Kozmikus Murphy-törvény:

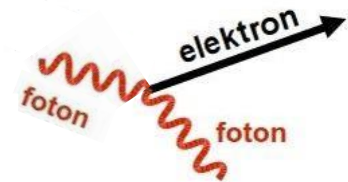
minden folyamat végbemegy, amit nem tilt megmaradási törvény

Az elemi részecskékről: dgy:  
**A sötét anyag nyomában**  
 Atomcsill, 2016.09.08

kvarkok			
leptonok			
	fermionok	bozonok	



ez lehetséges



ez NEM lehetséges

tiltja az elektromos töltés megmaradása

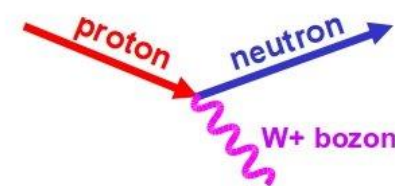
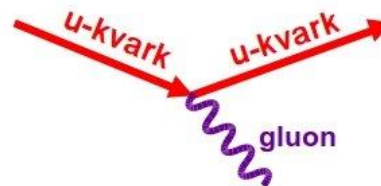
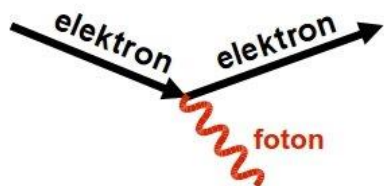
# elemi folyamatok

elektro-  
mágneses

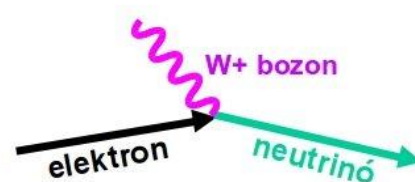
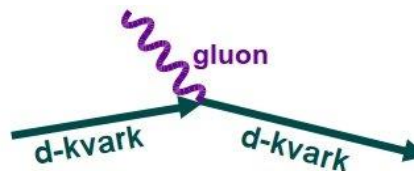
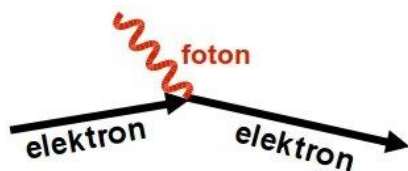
erős

gyenge

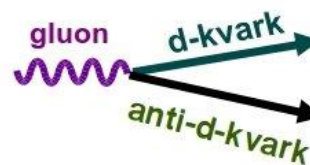
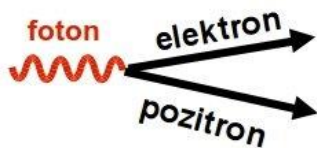
bozon-  
kibocsátás



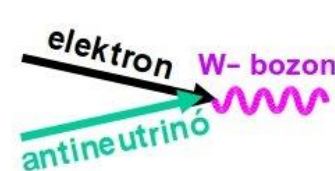
bozon-  
elnyelés



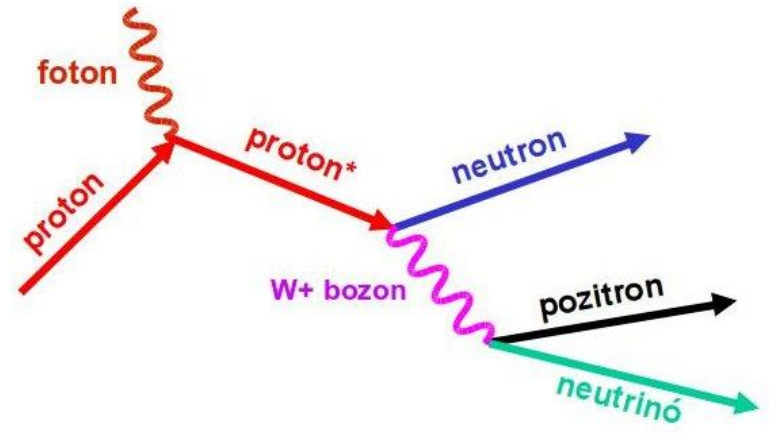
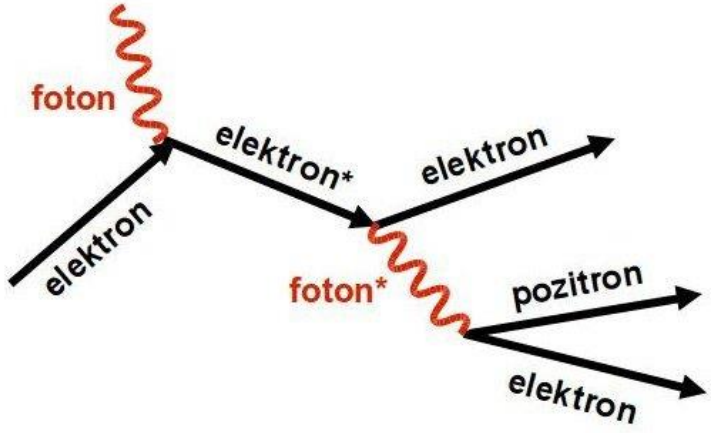
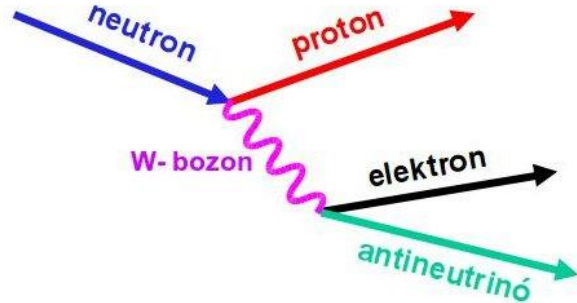
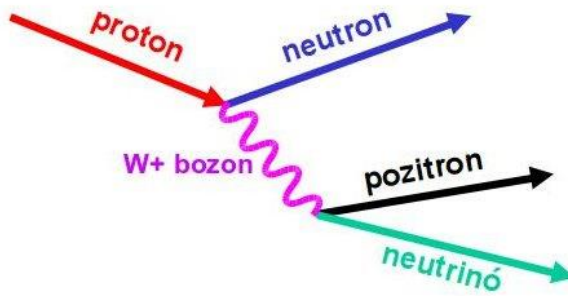
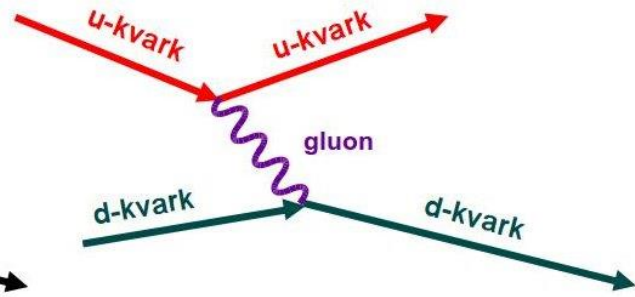
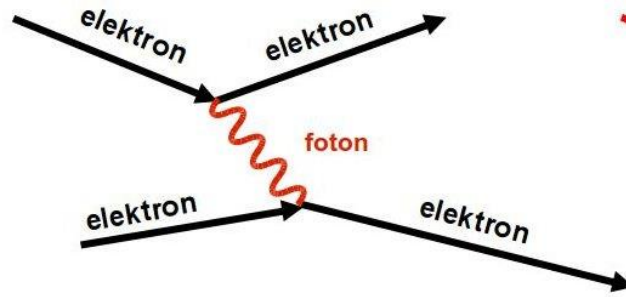
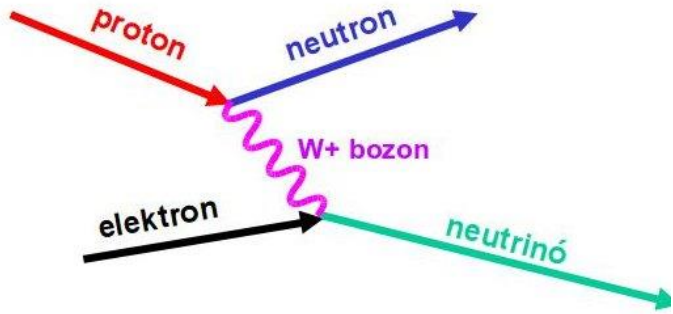
párkeltés



„annihiláció”



# összetett folyamatok





# Az ősi tűzgömb

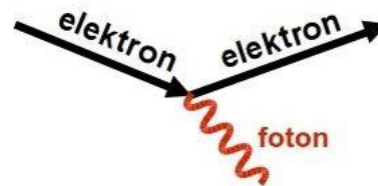
Minden elemi részecske jelen van

Kozmikus Murphy-törvény:

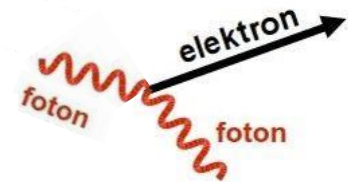
minden folyamat végbemegy, amit nem tilt megmaradási törvény

Az elemi részecskékről: dgy:  
**A sötét anyag nyomában**  
 Atomcsill, 2016.09.08

kvarkok			
leptonok			
	fermionok	bozonok	



ez lehetséges



ez NEM lehetséges

tiltja az elektromos töltés megmaradása

## Az ősi tűzgömb

Minden elemi részecske jelen van

Kozmikus Murphy-törvény:

minden folyamat végbemegy, amit nem tilt megmaradási törvény

bonyolult reakcióhálózat

sok gyors energiacserélő folyamat

hamar kialakult a termodinamikai egyensúly

ez az anyag egyenletesen kitöltötte az egész Univerzumot



az ősi tűzgömb idején az Univerzum a hőhalál állapotában volt!

**Az ősi tűzgömb**

**DE MOST NINCS!**

**Hogyan támadt fel?**

**És mit szól ehhez a  
termodinamika második főtétele?**



**az ősi tűzgömb idején  
az Univerzum a hőhalál  
állapotában volt!**

**Vizsgáljuk meg  
alaposabban az ősi  
tűzgömbben fennállt  
egyensúly részleteit!**

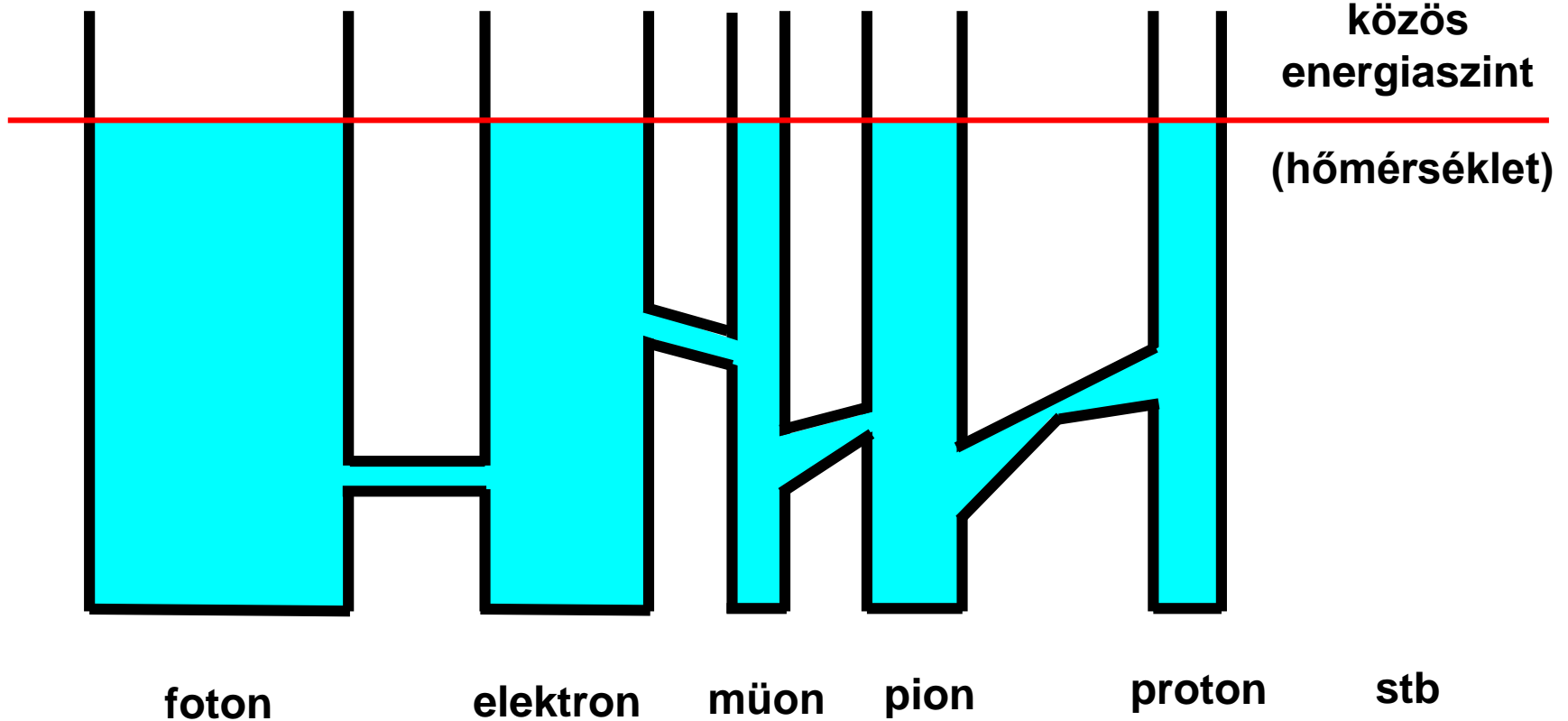
egy meglepően pontos hasonlat:

## közlekedő edények

ha van kapcsolat  
(kölcsonhatás), akkor a  
részletek nem számítanak!

az egyes objektumok számát a  
Boltzmann-formula adja meg:

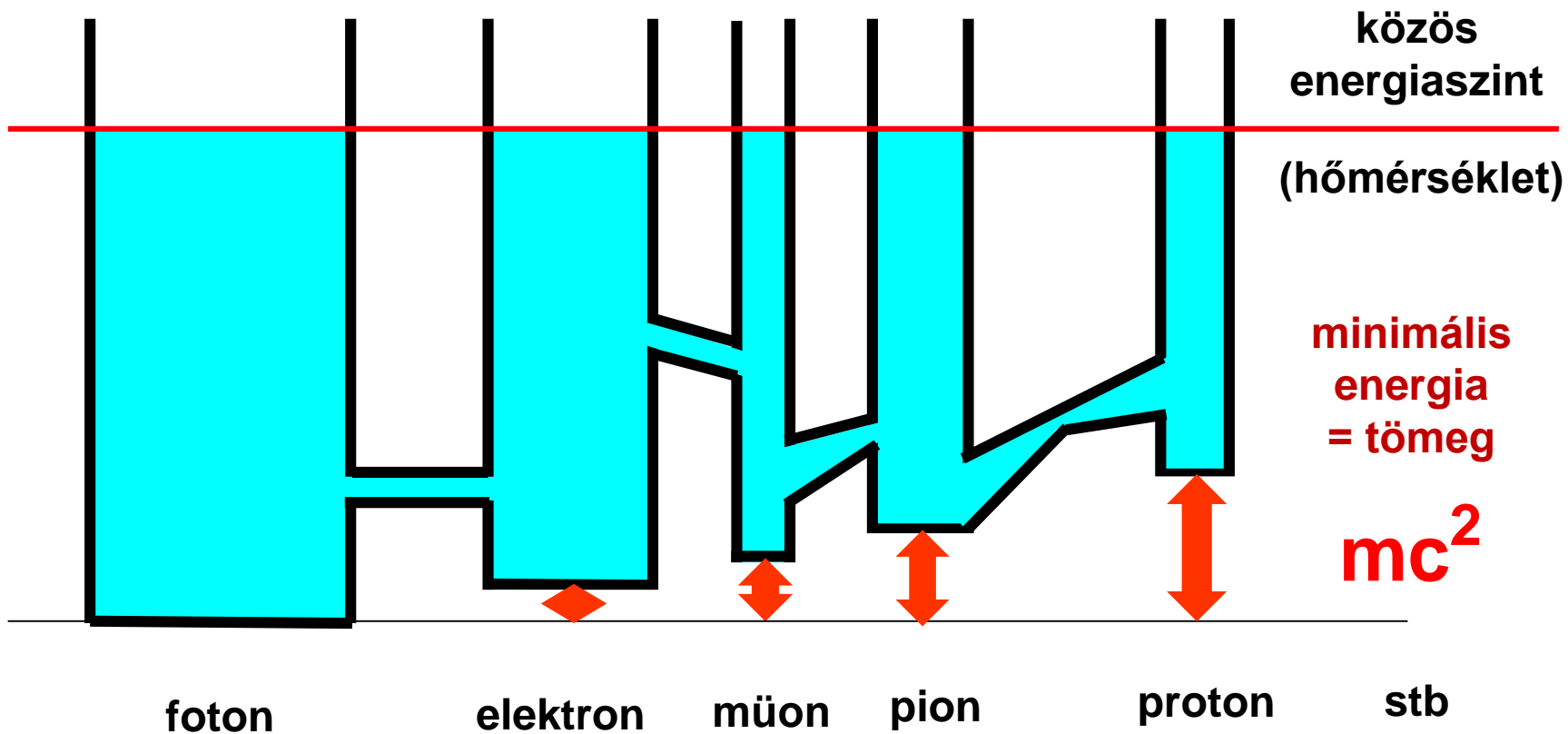
$$N \sim e^{-E/kT} \sim e^{-mc^2/kT}$$



még pontosabb hasonlat:

**közlekedő edények  
különböző alapszinttel**

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



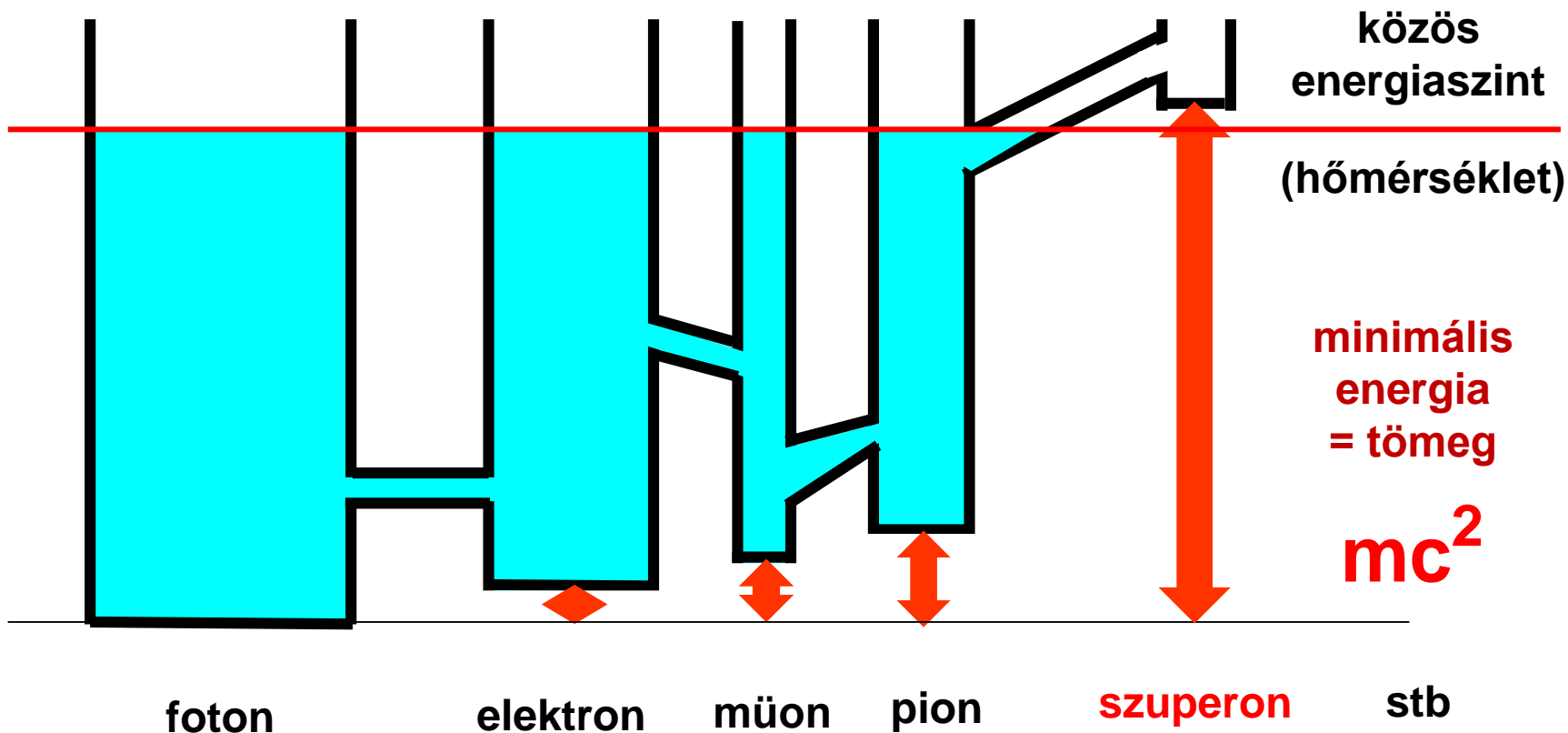
még pontosabb hasonlat:

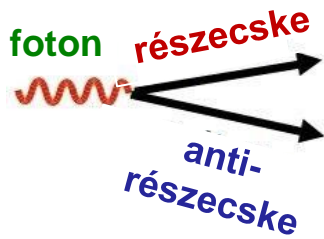
**közlekedő edények  
különböző alapszinttel**

Ha egy részecske tömege túl nagy

$$mc^2 > kT$$

akkor nem tud részt venni az  
egyensúlyban





$$E_{\text{foton}} = kT > 2mc^2$$

lehetséges  
a párkeltés

$$E_{\text{foton}} = kT < 2mc^2$$

NEM  
lehetséges  
a párkeltés

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

$$m_{\text{elektron}} = 0,5 \text{ MeV}$$

$$T_{\text{elektron}} = 10 \text{ milliárd K}$$

$$m_{\text{proton}} = 1 \text{ GeV}$$

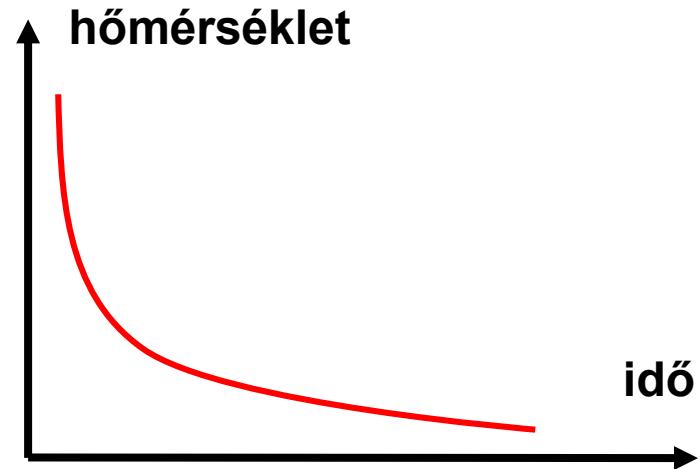
$$T_{\text{proton}} = 20 \text{ billió K}$$

$$m_{\text{foton}} = 0 \text{ eV}$$

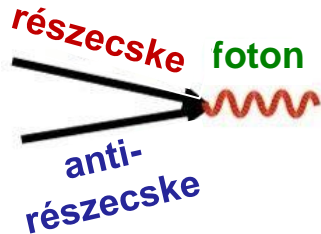
$$T_{\text{foton}} = 0 \text{ K}$$

csak hogy az  
ősi tűzgömb  
hőmérséklete  
**nem állandó!**

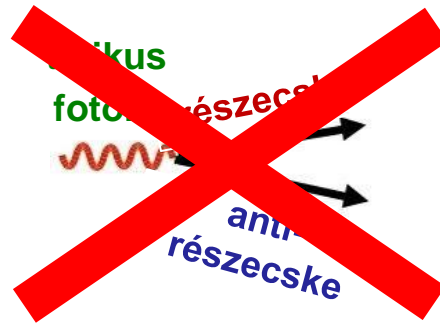
az Univerzum  
tágul és hűl



egyre újabb nagy tömegű  
részecske-antirészecske párok  
esnek ki az egyensúlyból



ez a folyamat  
még megy



ez a folyamat  
már nem megy

az egyensúlyi helyzet  
lassan változik

ezt hívják  
adiabatikusan  
változó  
egyensúlynak

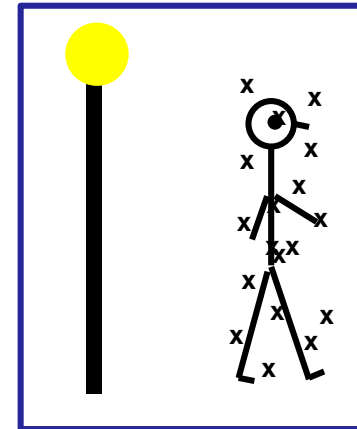
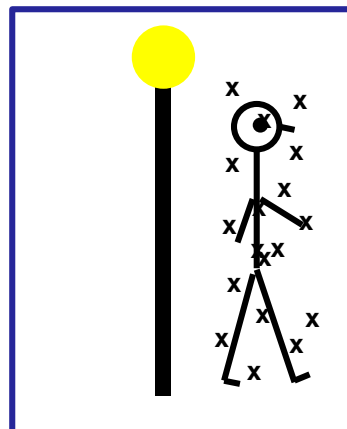
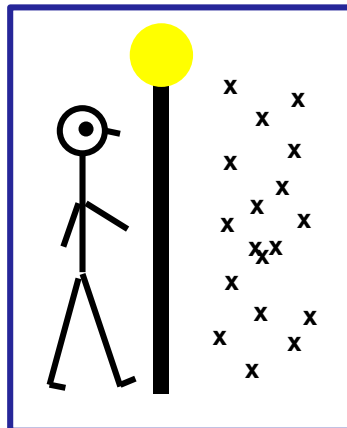


**adiabatikus folyamat:**

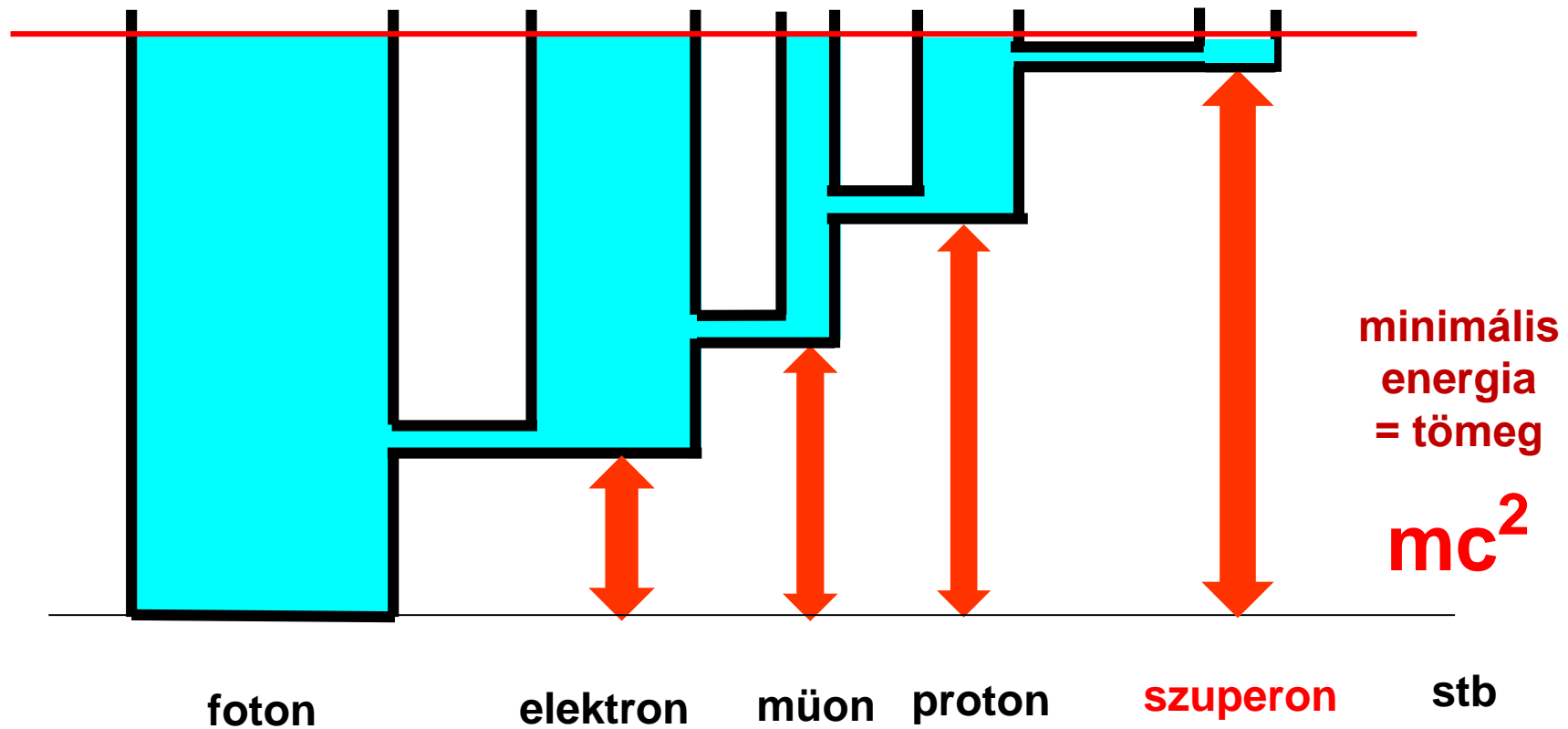
**gyors alkalmazkodás a  
lassan változó  
körülményekhez**

**elektronfelhő egy  
rezgő molekulában**

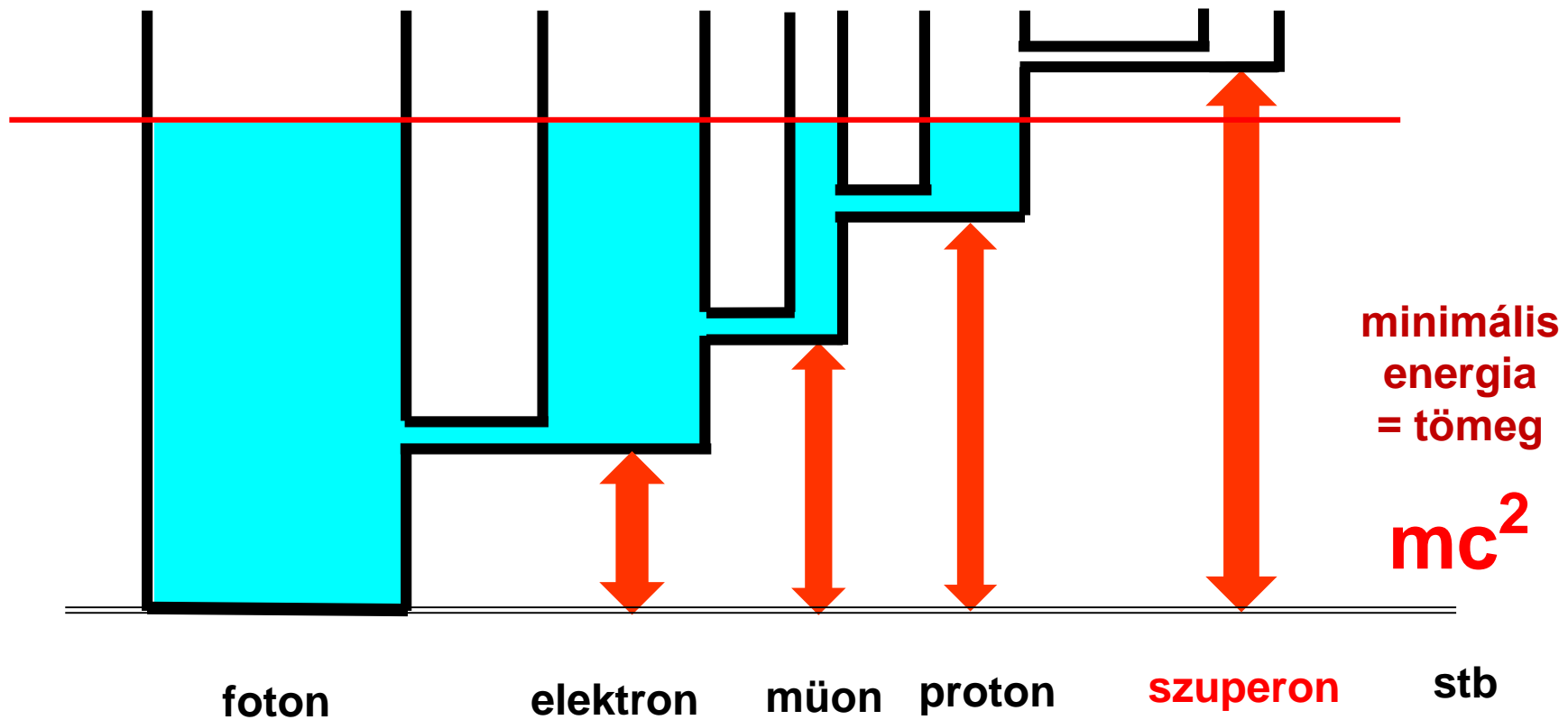
**vagy egy lengő  
ingában**



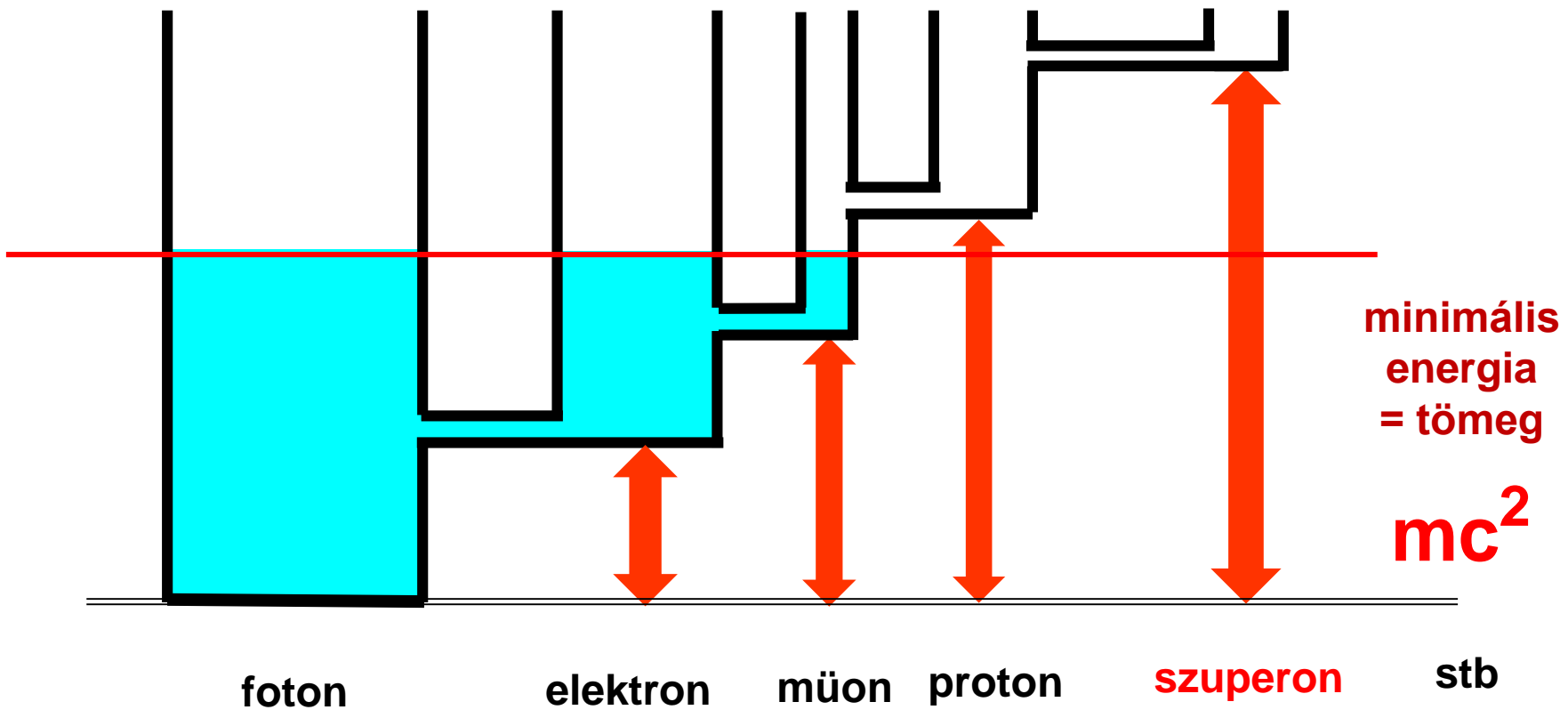
# Az ősi tűzgömbben jelen lévő részecskefajták egyensúlyának adiabatikus modellje



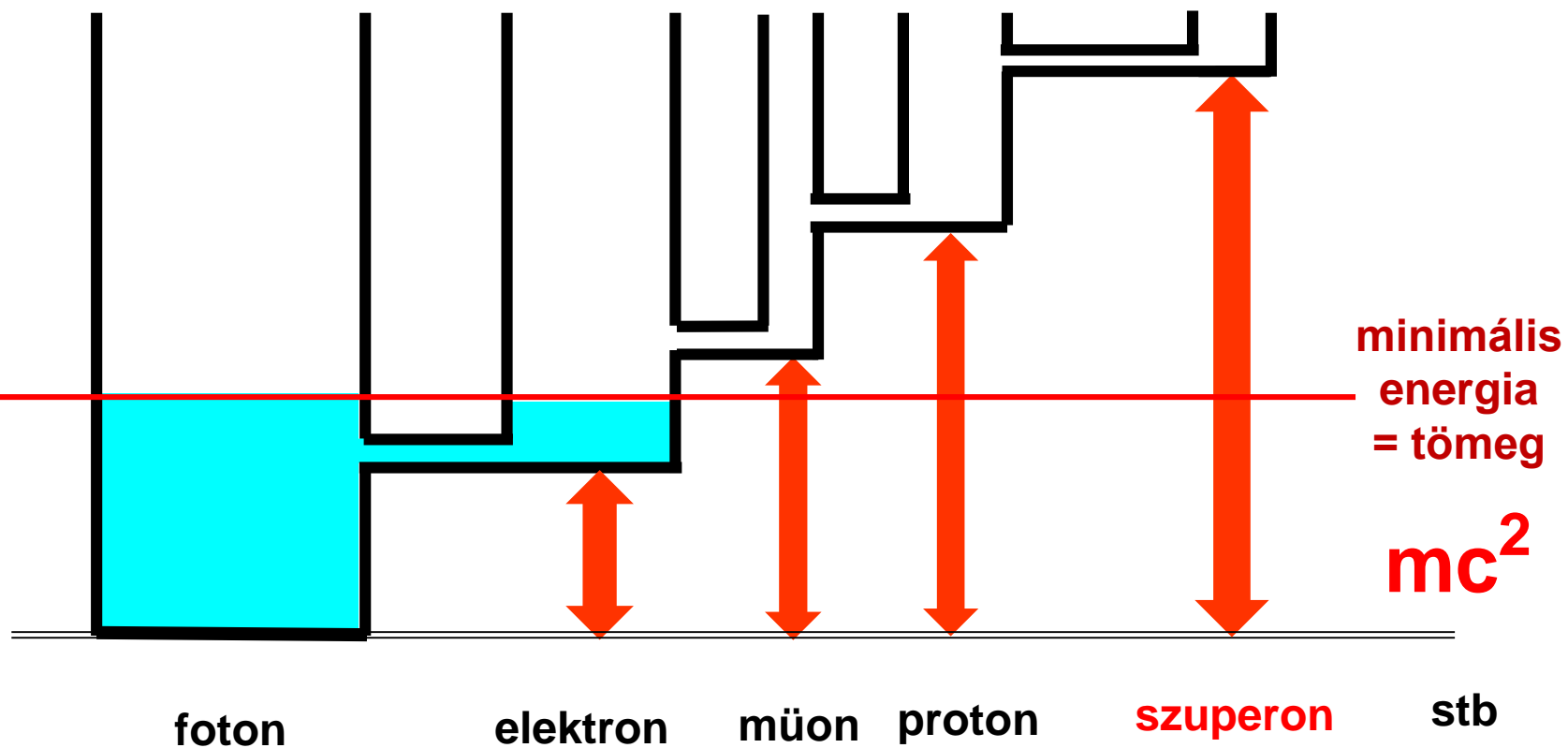
# Az ősi tűzgömbben jelen lévő részecskefajták egyensúlyának adiabatikus modellje



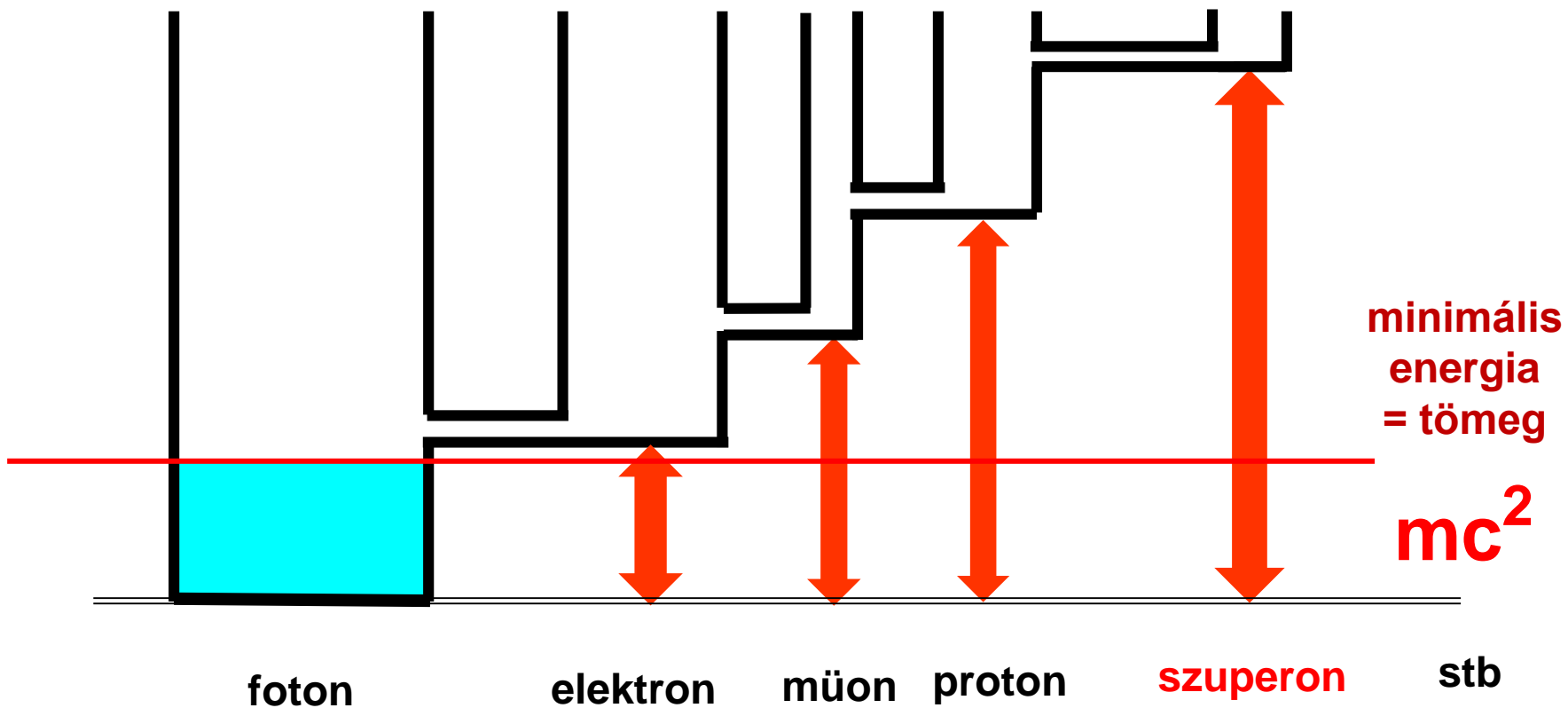
# Az ősi tűzgömbben jelen lévő részecskefajták egyensúlyának adiabatikus modellje



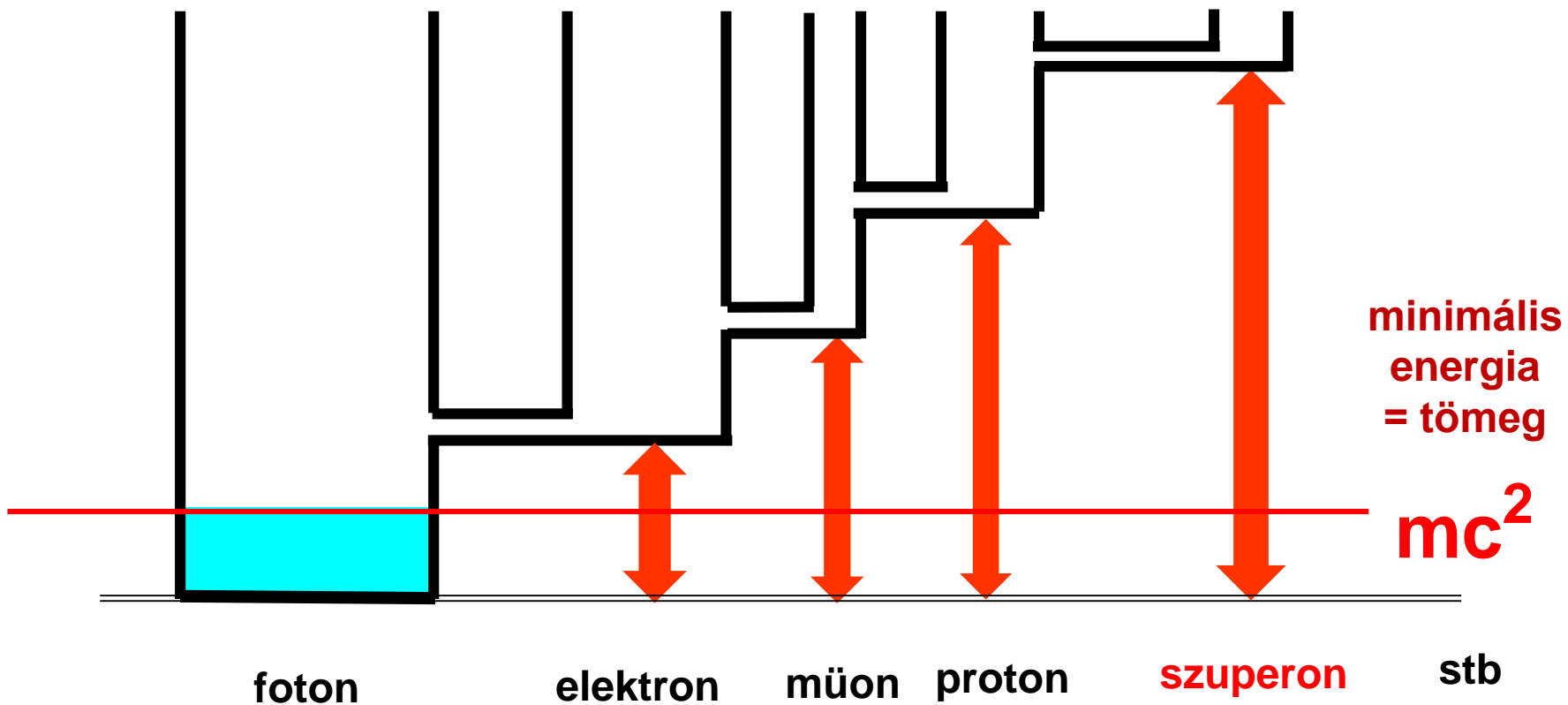
# Az ősi tűzgömbben jelen lévő részecskefajták egyensúlyának adiabatikus modellje



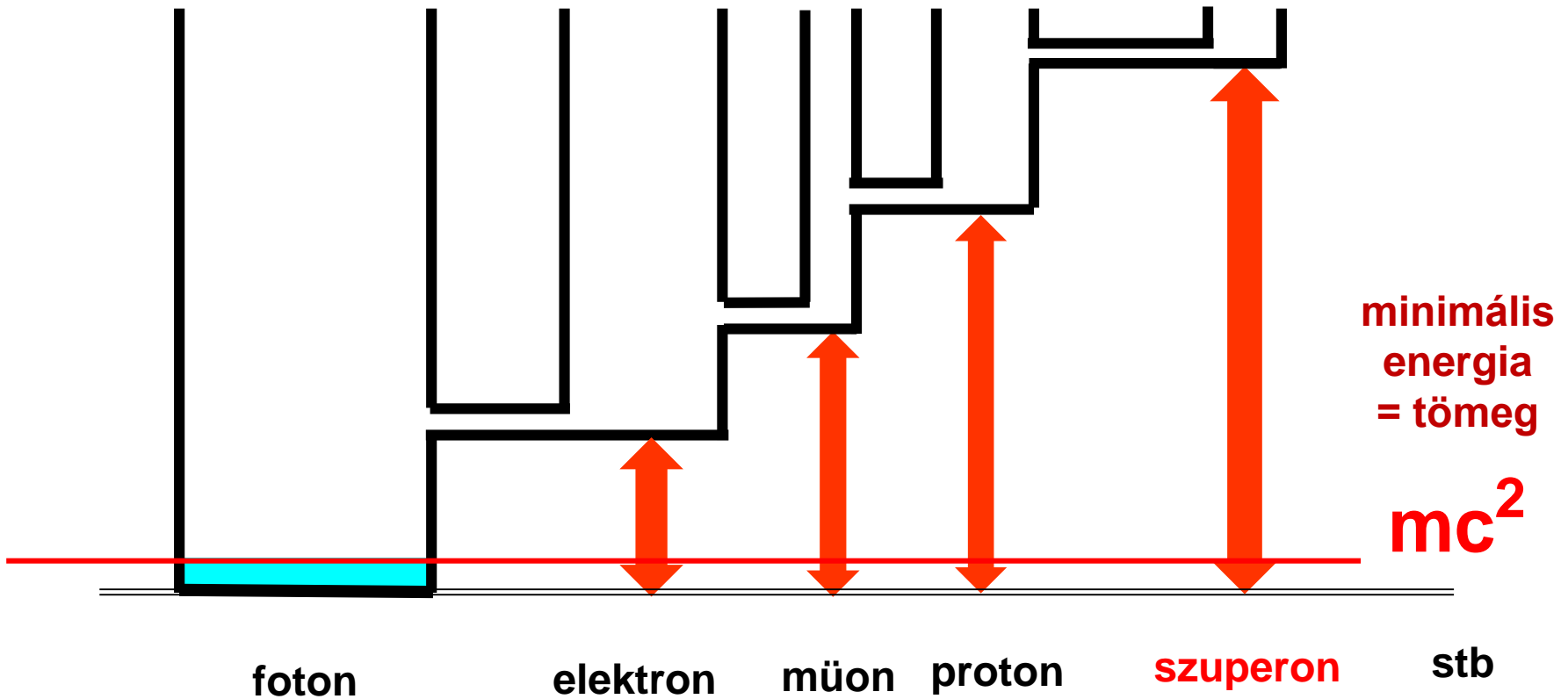
# Az ősi tűzgömbben jelen lévő részecskefajták egyensúlyának adiabatikus modellje



# Az ősi tűzgömbben jelen lévő részecskefajták egyensúlyának adiabatikus modellje



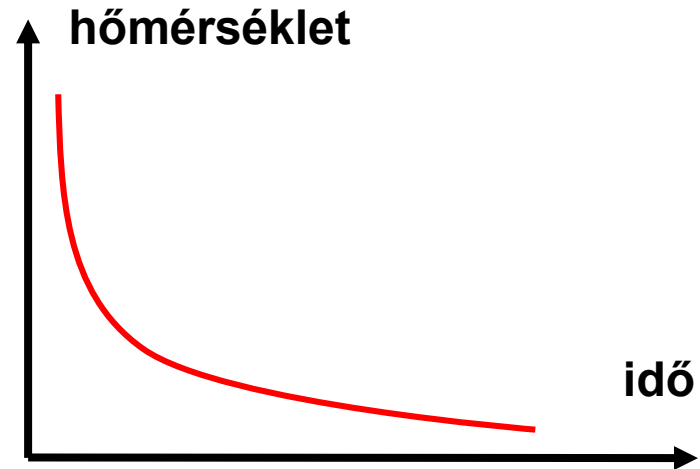
# Az ősi tűzgömbben jelen lévő részecskefajták egyensúlyának adiabatikus modellje





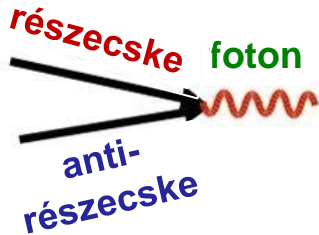
csak hogy az  
ősi tűzgömb  
hőmérséklete  
**nem állandó!**

az Univerzum  
tágul és hűl

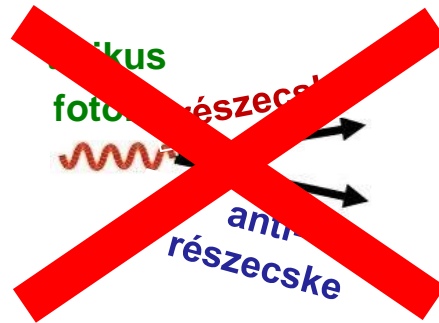


egyre újabb nagy tömegű  
részecske-antirészecske párok  
esnek ki az egyensúlyból

az egyensúlyi helyzet  
lassan változik



ez a folyamat  
még megy

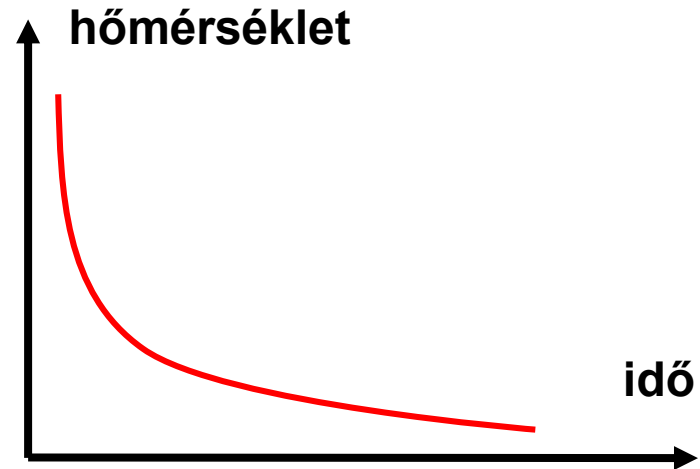


ez a folyamat  
már nem megy

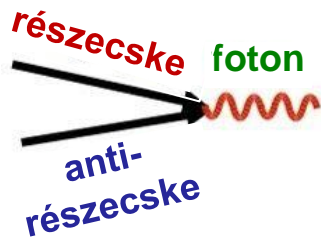
ezt hívják  
adiabatikusan  
változó  
egyensúlynak

csak hogy az  
ősi tűzgömb  
hőmérséklete  
**nem állandó!**

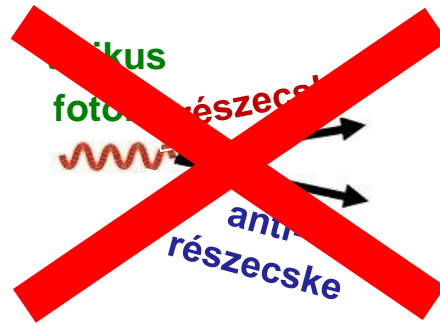
az Univerzum  
tágul és hűl



egyre újabb nagy tömegű  
részecske-antirészecske párok  
esnek ki az egyensúlyból



ez a folyamat  
még megy



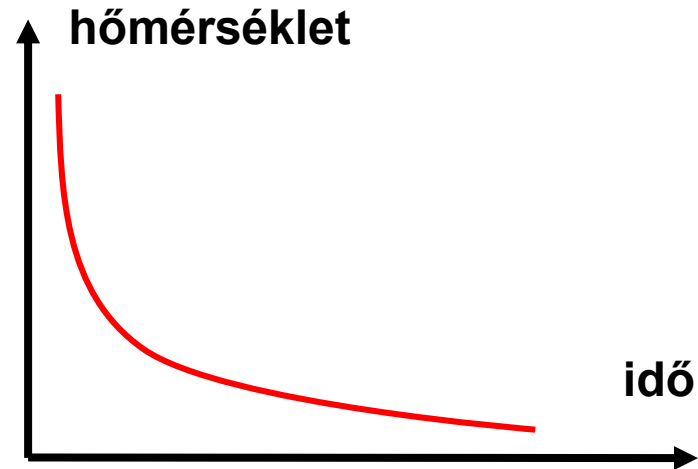
ez a folyamat  
már nem megy

az egyensúlyi helyzet  
lassan változik

végül csak a  
legkönnyebb  
részecskék,  
a fotonok  
maradnak az ősi  
tűzgömbből...

csak hogy az  
ősi tűzgömb  
hőmérséklete  
**nem állandó!**

az Univerzum  
tágul és hűl



No de ma nem csak fotonok  
léteznek!



az adiabatikus modell  
túlságosan leegyszerűsítő!

az egyensúlyi helyzet  
lassan változik



végül csak a  
legkönnyebb  
részecskék,  
a fotonok  
maradnak az ősi  
tűzgömbből...

# Idézzük fel a termodinamika MÁSODIK törvényét:

**zárt rendszerben (vagy végtelen  
homogén rendszer véges részében) a  
folyamatok az egyensúly felé tartanak,  
és el is érik az egyensúlyt**

**a törvény apróbetűs végrehajtási  
utasítása: ELŐBB-UTÓBB...**

**ez az UTÓBB olykor hosszabb idő lehet, mint a  
világegyetem életkora...**

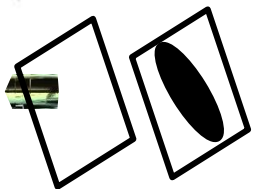
# Mi kell az egyensúly beállításához?

**sok ütközés, sok energiacserélő reakció**

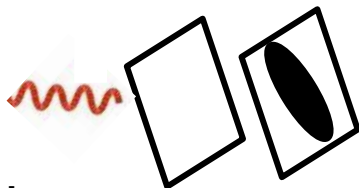
**ütközési folyamatok**



**klasszikus részecske**



**kvantum-részecske**

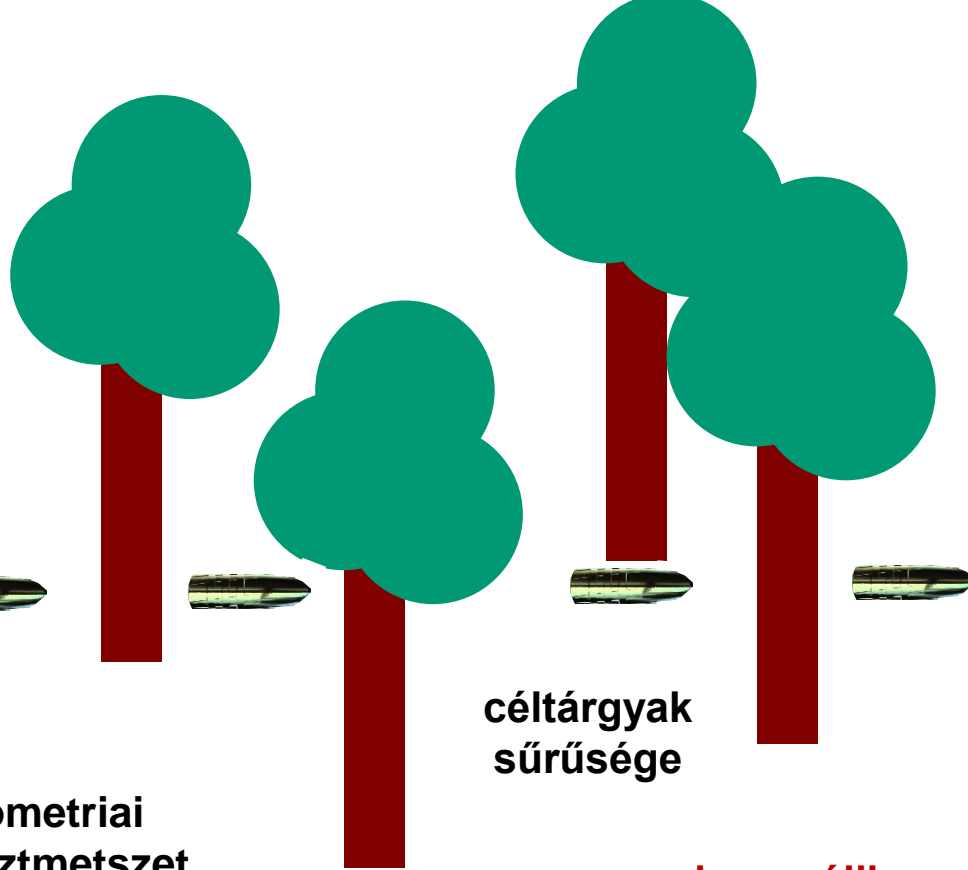


(gyakran csak áthullámoznak egymáson)

**geometriai keresztmetszet**

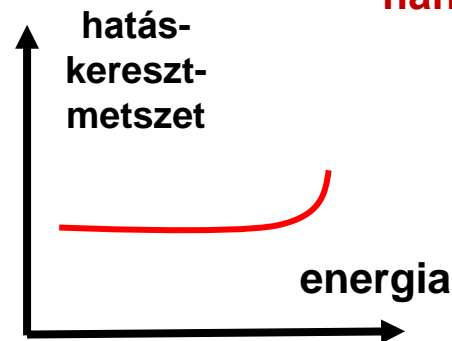
**effektív hatás-kérsztmetszet**

**energiafüggő!**

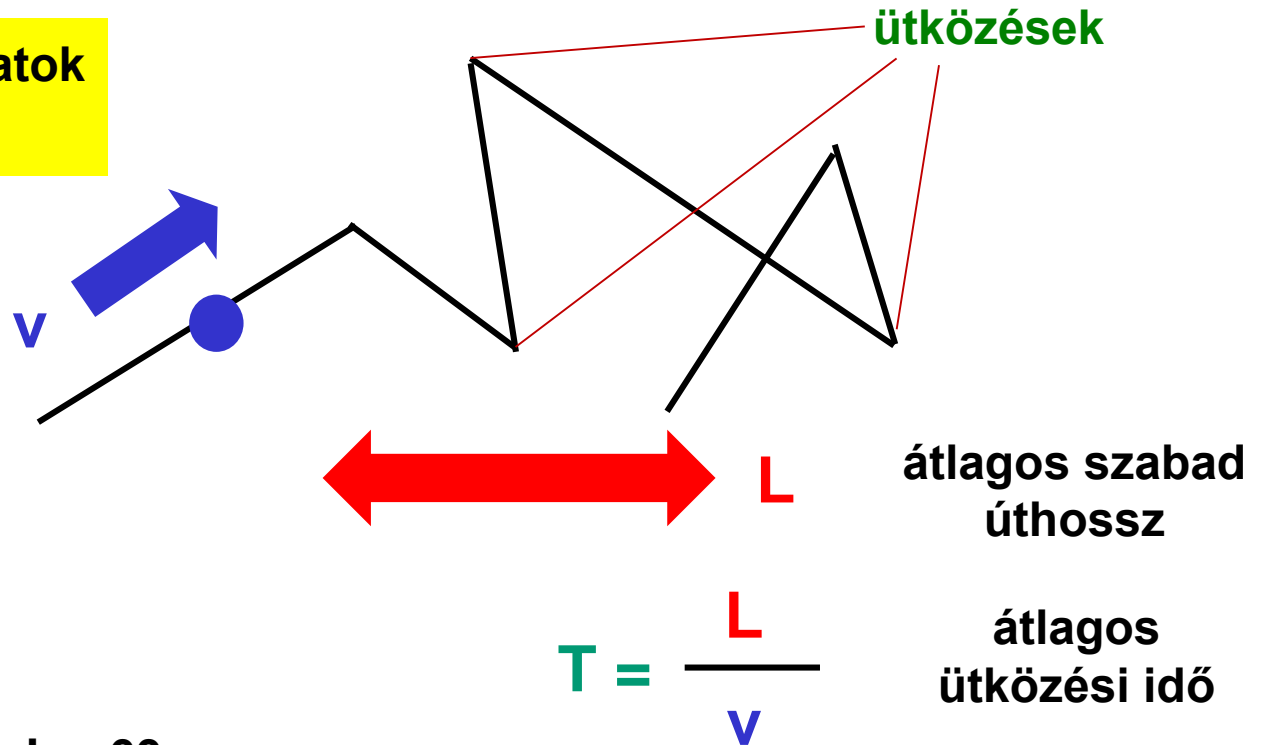


**céltárgyak sűrűsége**

**ezen múlik, hány ütközés lesz!**



## ütközési folyamatok jellemzése



normál  
gázban:

$$L = 60 \text{ nm}$$
$$T = 10^{-10} \text{ s}$$

vákuumban:

$$L = 100\,000 \text{ km}$$
$$T = 1 \text{ nap}$$

Előfordulhat, hogy  $L$  összemérhető az Univerzum méretével,  $T$  pedig az Univerzum életkorával

az Univerzum tágul és hűl:

az anyag ritkul

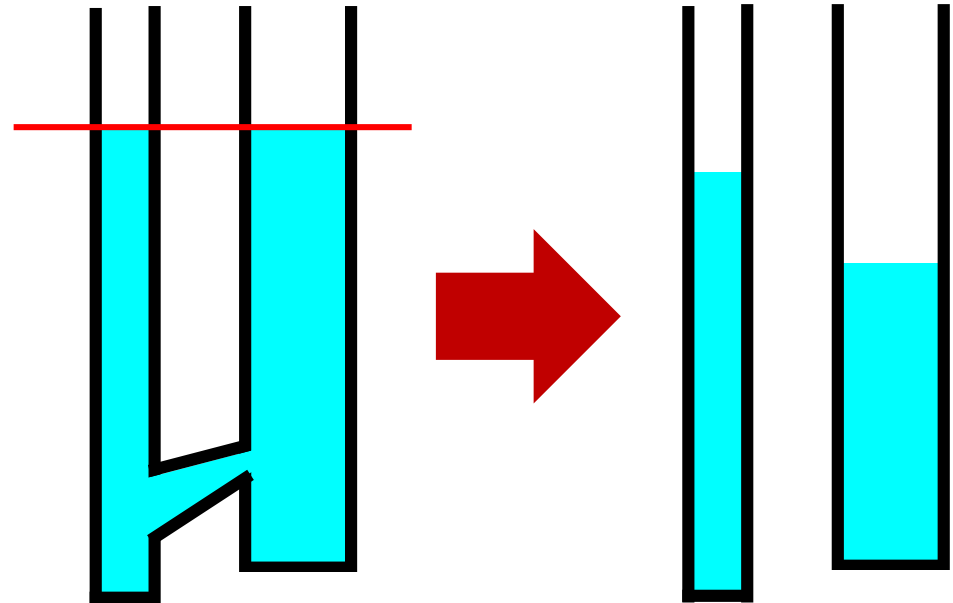
a részecskék energiája  
csökken

egyre kevesebb ütközés  
lesz

ezért nem tud beállni az  
adott hőmérséklethez  
tartozó termodinamikai  
egyensúly

**bizonyos részecskék,  
anyagfajták  
között megszűnik a  
termodinamikai kapcsolat!**

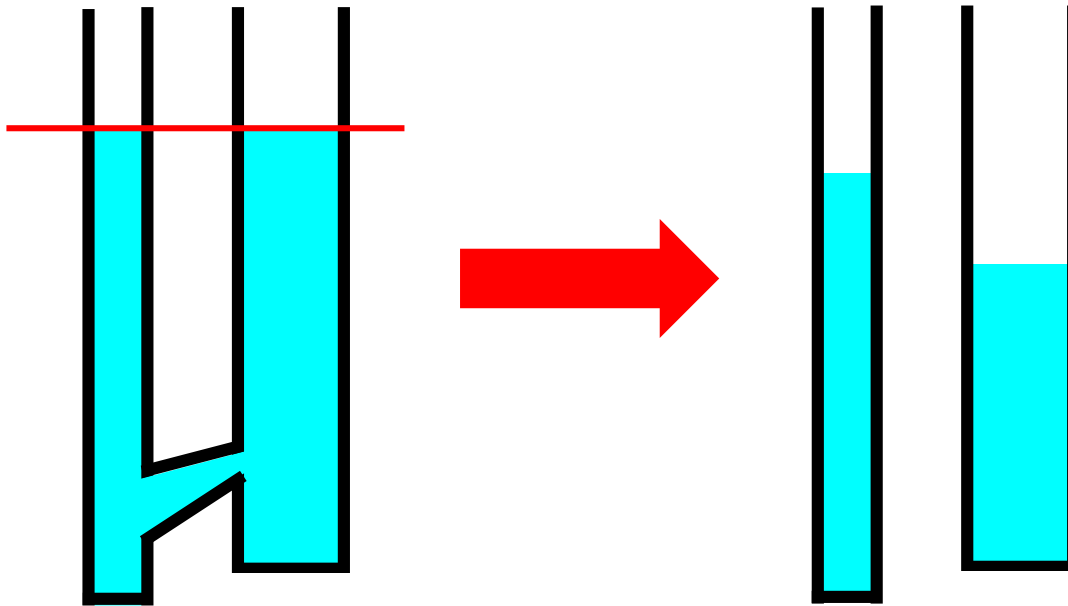
Előfordulhat, hogy **L**  
összemérhető az Univerzum  
méretével, **T** pedig az  
Univerzum életkorával



egyensúly

független  
további fejlődés!

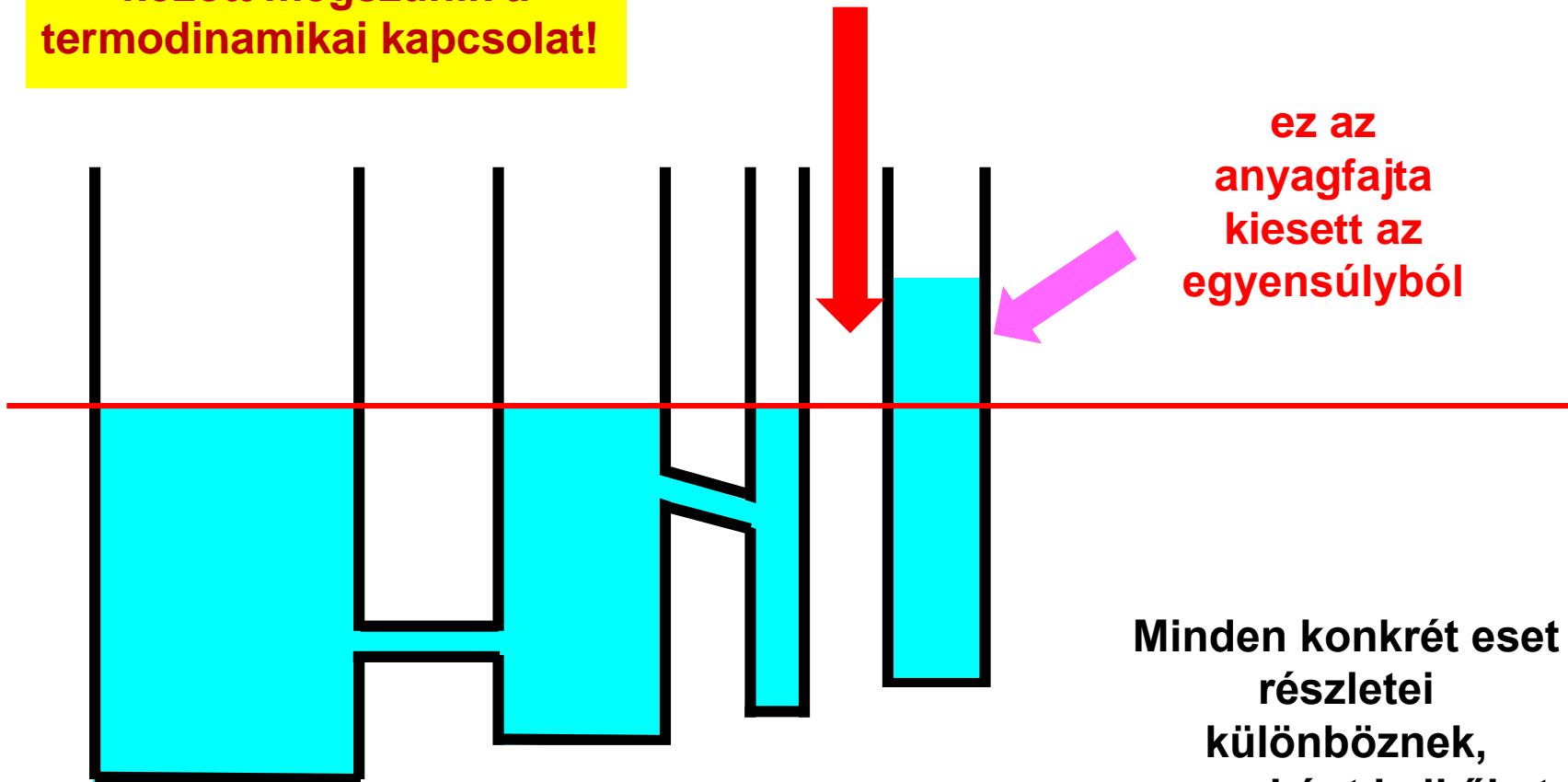
**bizonyos részecskék,  
anyagfajták  
között megszűnik a  
termodinamikai kapcsolat!**





**bizonyos részecskék,  
anyagfajták  
között megszűnik a  
termodinamikai kapcsolat!**

itt megszűnt az  
összeköttetés

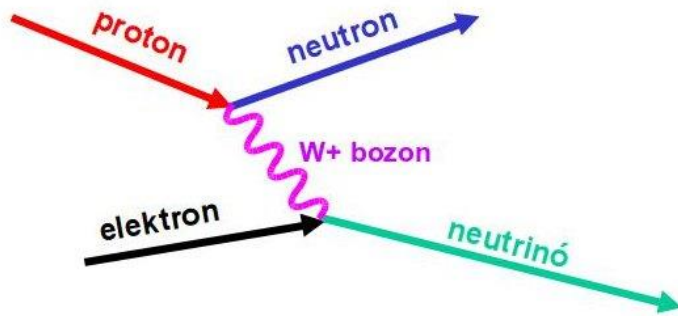


**ez az  
anyagfajta  
kiesett az  
egyensúlyból**

**Minden konkrét eset  
részletei  
különböznek,  
egyenként kell őket  
megvizsgálni!**

## Esettanulmány: egy tipikus példa

### a gyenge kölcsönhatás alapfolyamata



egyensúlyban, nagy hőmérsékleten  
ez a folyamat **MINDKÉT** irányban  
végbemegy



a protonok és a neutronok egyensúlyban vannak egymással

a folyamathoz két részecske ütközése kell

Mi szabja meg az  
egyensúlyban a  
részecskék  
számát?

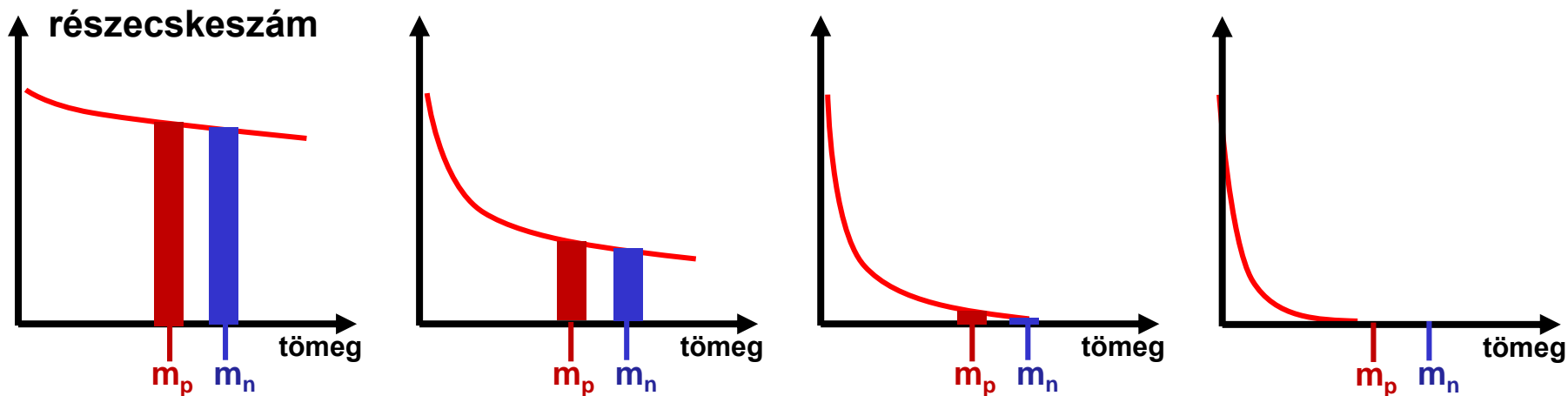
a Boltzmann-eloszlás

$$N \sim e^{-E/kT} \sim e^{-mc^2/kT}$$

Mi szabja meg az egyensúlyban a részecskék számát?

a Boltzmann-eloszlás

$$N \sim e^{-E/kT} \sim e^{-mc^2/kT}$$



$$T \gg mc^2$$



a hőmérséklet csökken

ebben a fázisban fagyott be a reakció

$$T \ll mc^2$$



$$\frac{N_p}{N_n} \sim 6$$

De a természet trükkös!

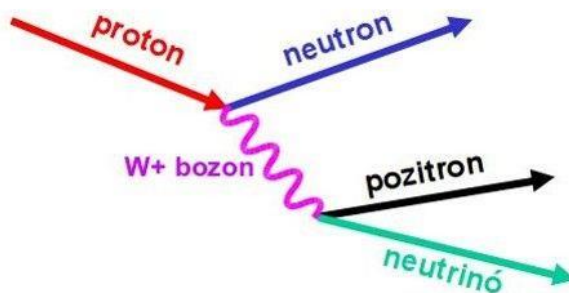


neutronbomlás:

ehhez elég a neutron egymagában



az alapfolyamathoz két részecske találkozása kellett



protonbomlás:

ez nem megy végbe külső energiabefektetés nélkül

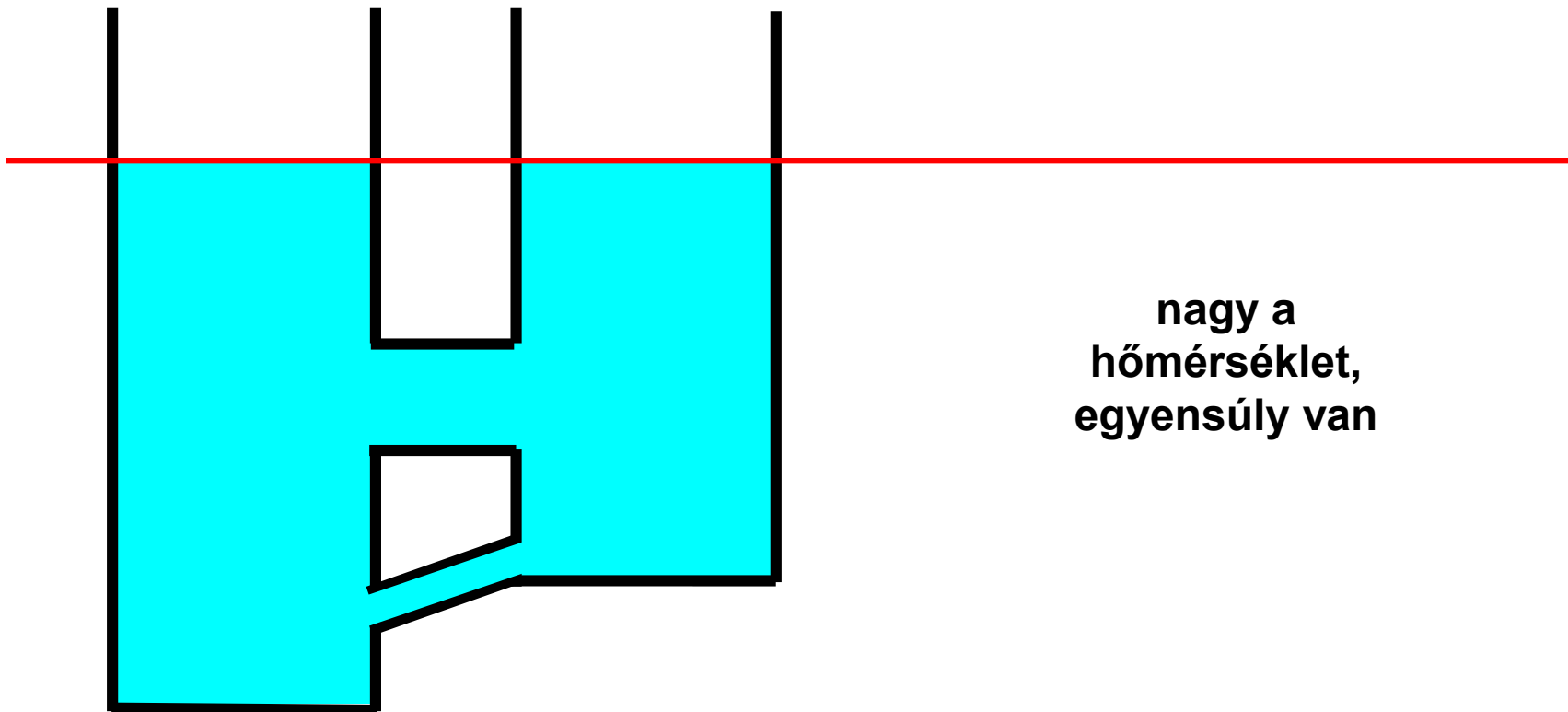
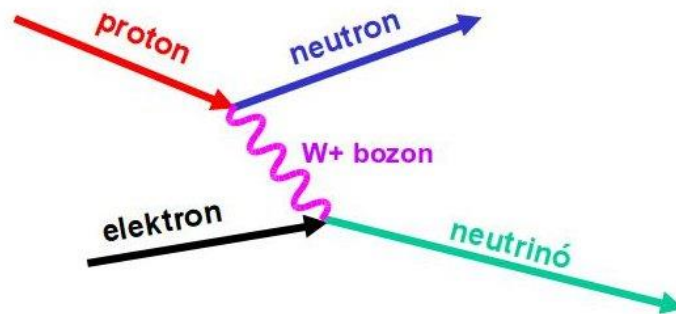
Fúzió a csillagokban: dgy:  
**Kirándulás a nukleáris völgybe**  
Atomcsill, 2011.09.29

de megtörténik a csillagokban!

# a gyenge kölcsönhatás közlekedő edényes modellje

protonok

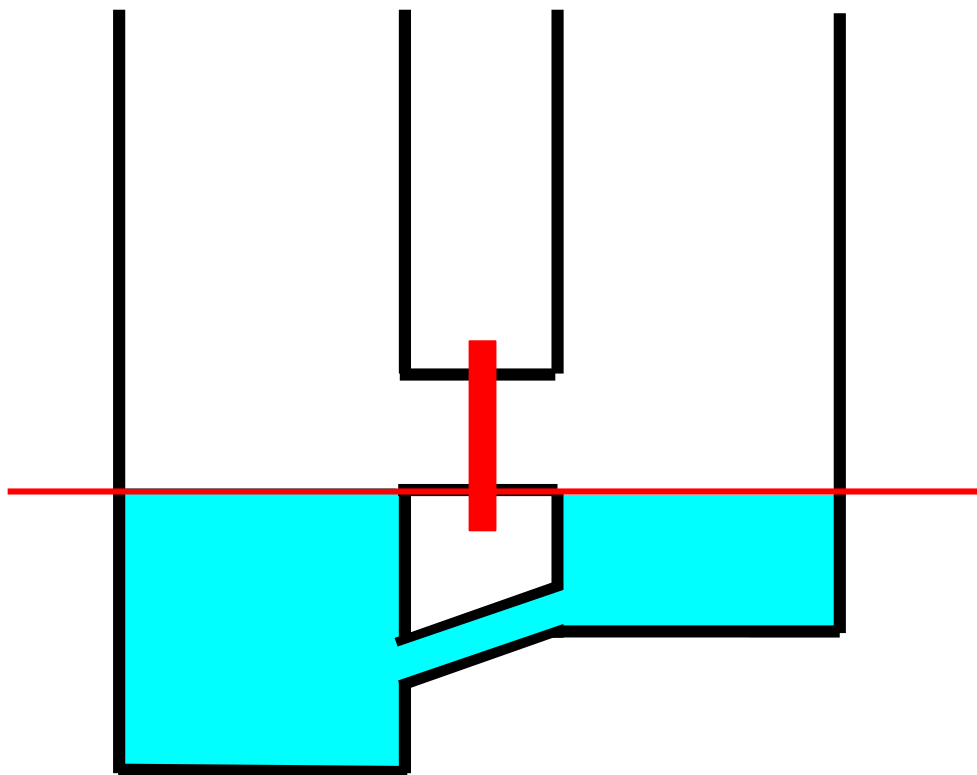
neutronok



# a gyenge kölcsönhatás közlekedő edényes modellje

protonok

neutronok

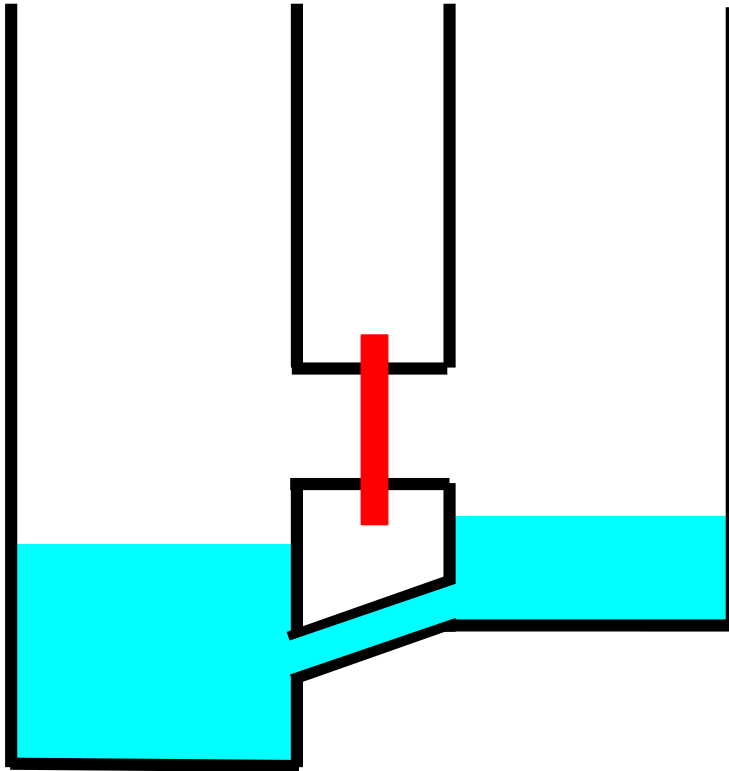


megszűnnek a reakciók, az egyensúly befagy

# a gyenge kölcsönhatás közlekedő edényes modellje

protonok

neutronok

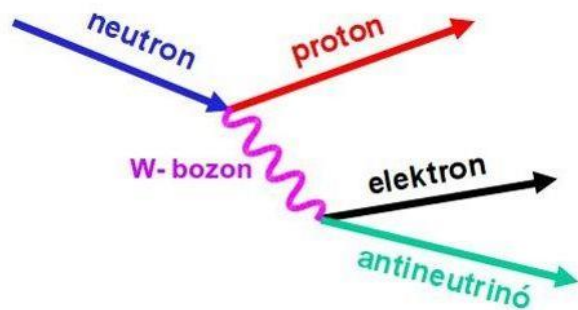
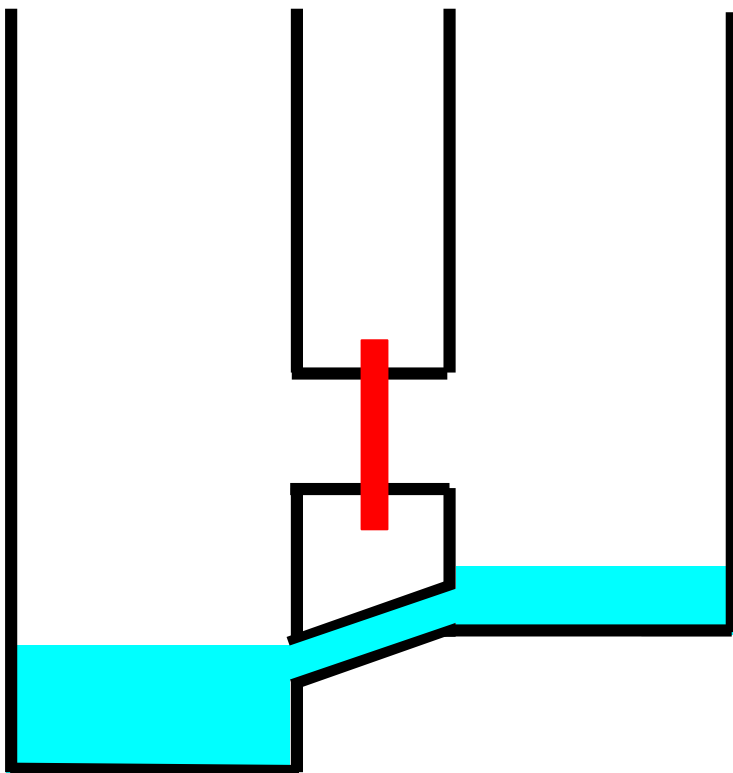


nincs egyensúly,  
a két  
részecskefajta  
egymástól  
függetlenül hűl

# a gyenge kölcsönhatás közlekedő edényes modellje

protonok

neutronok



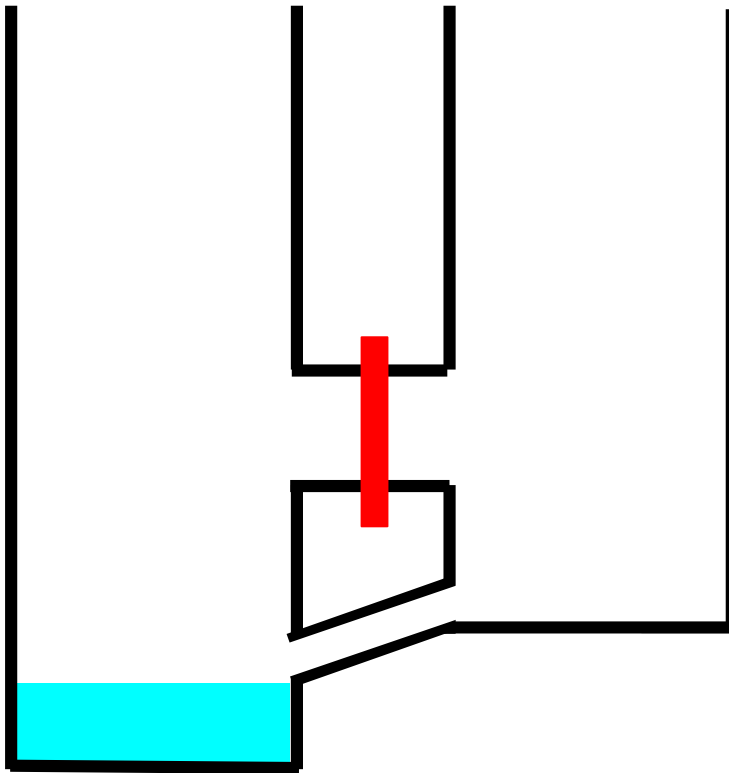
a  
neutronbomlás  
a megmaradt  
neutronokat  
átalakítja  
protonokká



# a gyenge kölcsönhatás közlekedő edényes modellje

protonok

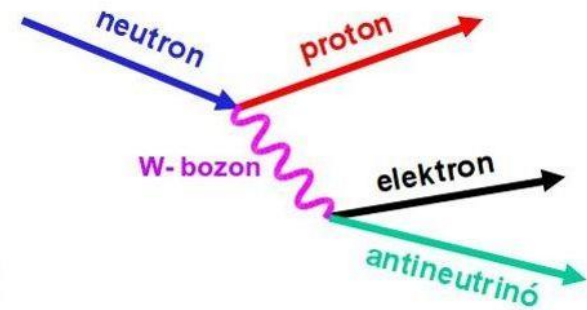
neutronok



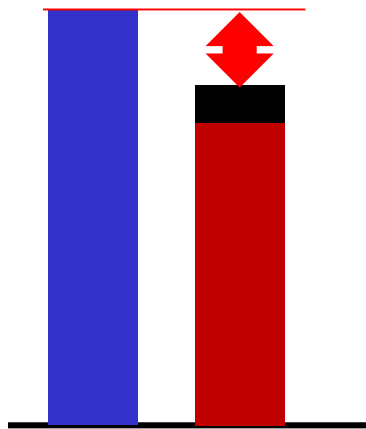
a szabad neutronok teljesen elfogytak, csak protonok maradtak

# a természet még ennél is trükkösebb!

miért tud végbemenni ez a bomlás?



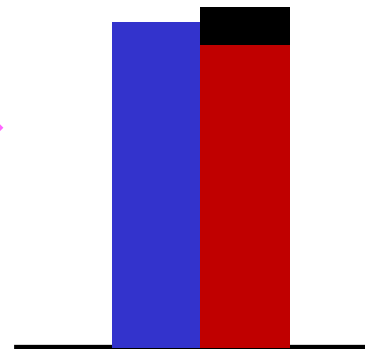
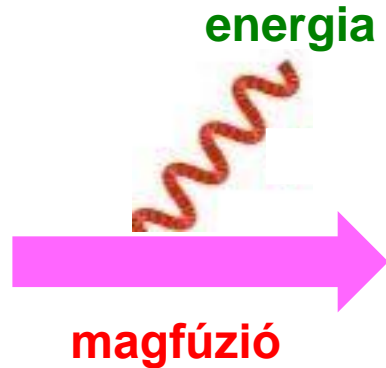
szabad neutron és proton



$$m_n > m_p + m_e$$

a magányos neutron el tud bomlani

Deuteron, a neutron és proton kötött állapota



$$m_D < 2 m_p + m_e$$

a deuteronba kötött neutron már nem!

az idejében házasságot kötött neutronok életben maradhatnak!

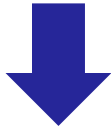
a szabad neutron felezési ideje 15 perc

a magfúzió 3 percig lehetséges

utána már túl hideg van

**Tanulság:**

a táguló és hűlő  
univerzumban lassulnak  
a folyamatok, és egy idő  
után befagynak a  
reakciócsatornák



gyakori kölcsönhatás  
nélkül nem tud  
kialakulni az aktuális  
termodinamikai  
egyensúly

emlékeztető:

**adiabatikus folyamatok:**

a lassan változó  
paraméterekhez a gyors  
folyamatok alkalmazkodni  
tudnak

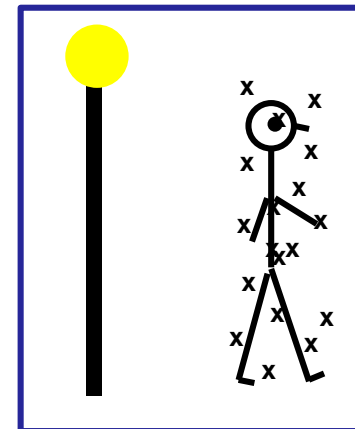
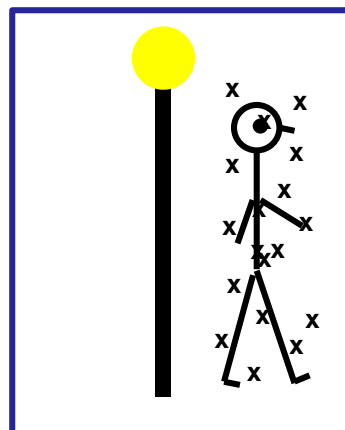
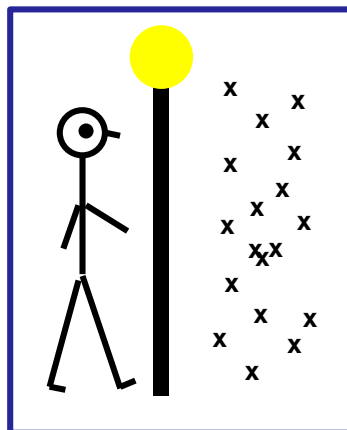
**de a gyors változásokhoz  
már nem!**

mihez képest gyors?

az elemi folyamatok  
reakcióidejéhez,  
az ütközések közti  
repülési időhöz képest!

**adiabatikus folyamat:**

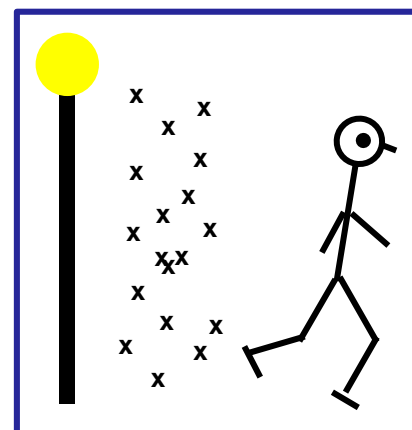
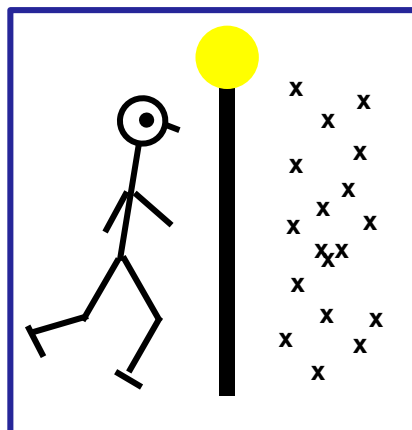
**gyors alkalmazkodás a  
lassan változó  
körülményekhez**



**elektronfelhő egy  
rezgő molekulában**

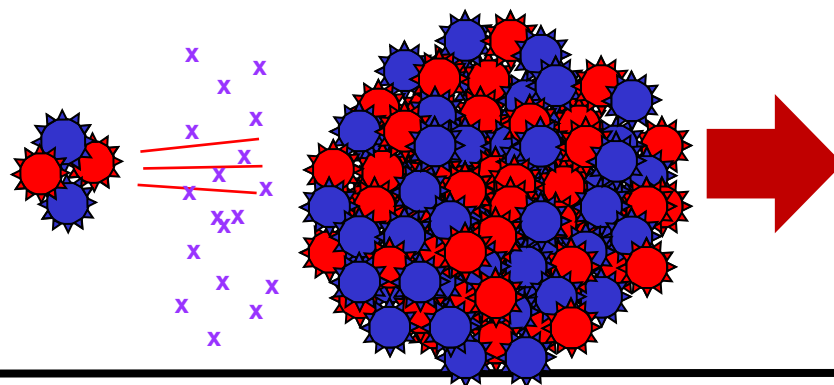
**vagy egy lengő  
ingában**

**bizonyos sebesség  
fölött  
ez már nem megy**



**nem adiabatikus folyamat:**

**radioaktív atommag  
elektronfelhője**



**De egyáltalán miért marad életben  
néhány elemi részecske,  
pl. az elektron és a proton?**

$$m_{\text{elektron}} = 0,5 \text{ MeV}$$

$$T_{\text{elektron}} = 10 \text{ milliárd K}$$

$$m_{\text{proton}} = 1 \text{ GeV}$$

$$T_{\text{proton}} = 20 \text{ billió K}$$

**hőmérséklet: egy szabadsági fokra jutó energia**

**ma az Univerzum  
hőmérséklete 2,7 K**

**ez 1/4000 eV-nek  
felel meg**

**miért maradt az  
elektronnak és a  
protonnak ilyen  
rettenetesen sok  
energiája?**

## Pionbomlás:



$$m_\pi > m_\mu > m_e$$

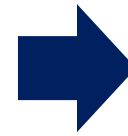
szegény elektron elbomlana,  
de nincs mire...

az elektron a legkönnyebb  
elektromosan töltött részecske

az elektromos töltés  
megmaradási tétele  
megtiltja a bomlást



nem tudja hova  
tenni a töltését



az elektron kénytelen  
életben maradni!

nála maradt a Fekete Péter



a termodinamika szerint el  
kellene bomlania, de nincs  
olyan folyamat, ami ezt  
megvalósítja

És a proton?



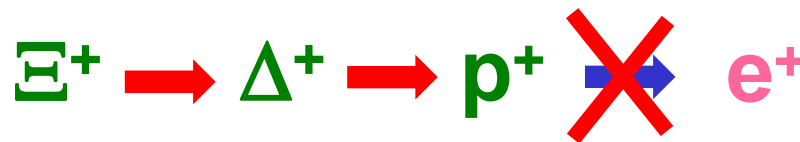
$$m_\pi > m_\mu > m_e$$

az elektromos töltés  
megmaradási tétele  
megtiltja a bomlást

nem tudja hova tenni a  
töltését

nála maradt a Fekete Péter

?



$$m_\Xi > m_\Delta > m_p > m_e$$

a **BARIONTÖLTÉS**  
megmaradási tétele  
megtiltja a bomlást

a proton a legkönnyebb  
bariontöltött részecske

Wigner Jenő pont ezért találta  
ki a bariontöltést (1948)



Happy end!

Csakhogy...

a Nagy Egyesített  
részecskefizikai  
elméletekben  
(**GUT**)  
a bariontöltés  
nem marad meg!

ezért a proton  
elbomlik

végrehajtási utasítás:  
**ELŐBB-UTÓBB**

a **bariontöltés** megmaradási  
tétele megtiltja a bomlást

végül győz a  
**Második Főtétel...**

ez **az UTÓBB** ebben  
az esetben kb.

**$10^{35}$  év**

az Univerzum jövőjéről: dgy:  
**A következő 137 kvintillió év**  
Atomcsill, 2021.09.09





de minden Fekete Péterhez tartozik egy Fehér Pál!

és minden részecskének van antirészecskéje!



„annihiláció”



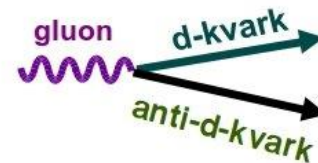
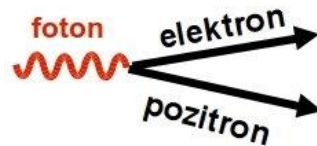
hiába tartaná életben az elektront az elektromos töltés megmaradása

ha találkozik egy antielektronnal (pozitronnal), akkor fotonokra sugárzik szét

Szóval: hova lett az antianyag?

Az ősi tűzgömbben elvileg **ugyanannyi** részecske volt, mint antirészecske

párkeltés



„annihiláció”



a folyamatok a részecskefizika elmélete és kísérletei szerint **pontosan szimmetrikusak** a részecske-antirészecske tükrözésre nézve

a folyamatok a részecskefizika elmélete és kísérletei szerint  
**pontosan szimmetrikusak**  
a részecske-antirészecske tükrözésre nézve

de mégis volt egy kis  
aszimmetria:

5 000 000 000 antiproton

5 000 000 001 proton

Fontos kérdés, mert  
ennek köszönhetjük a  
létezésünket:

**Mi az aszimmetria oka?**

**Senki nem tudja!**



10 000 000 000 foton

1 proton



háttérsugárzás

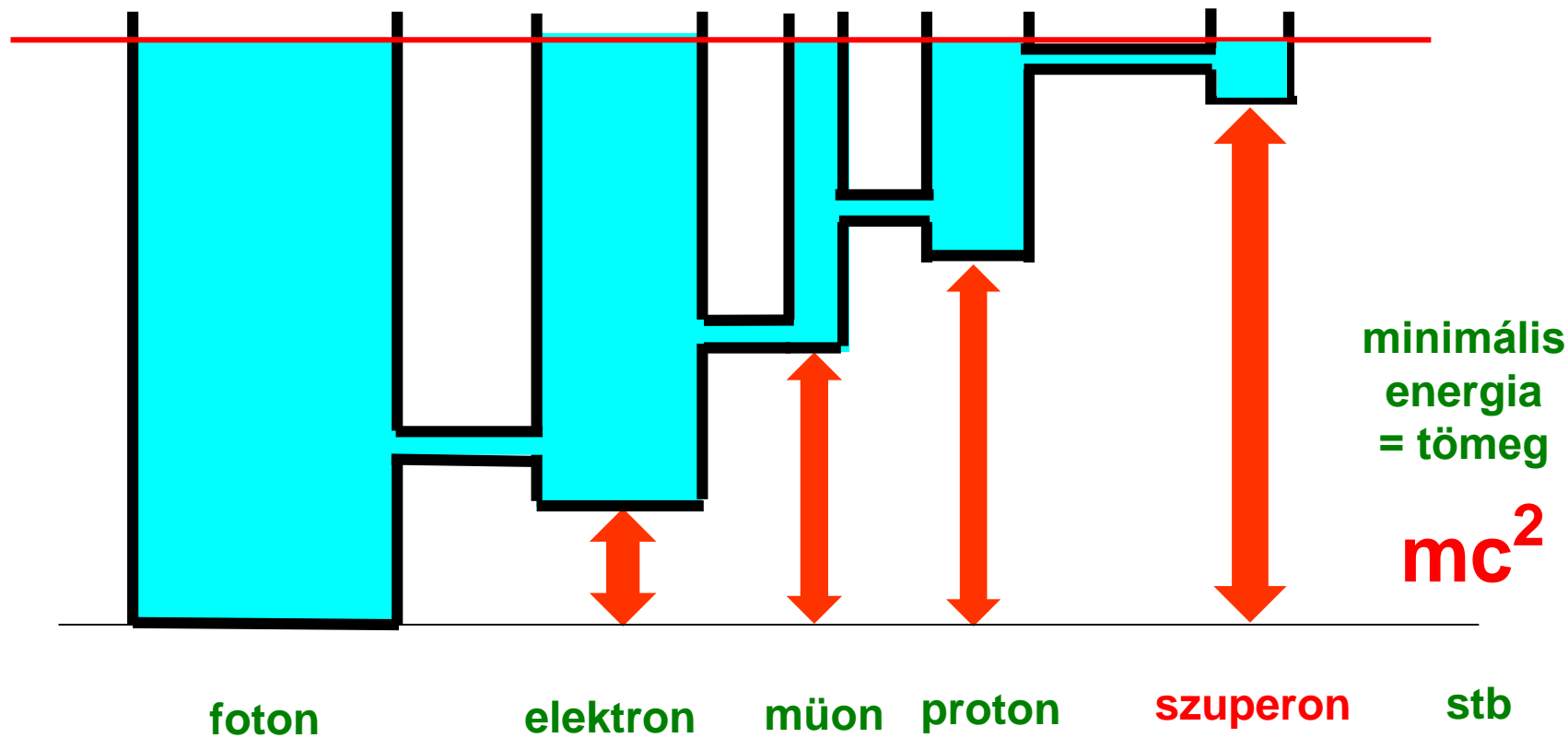


ebből lettünk mi

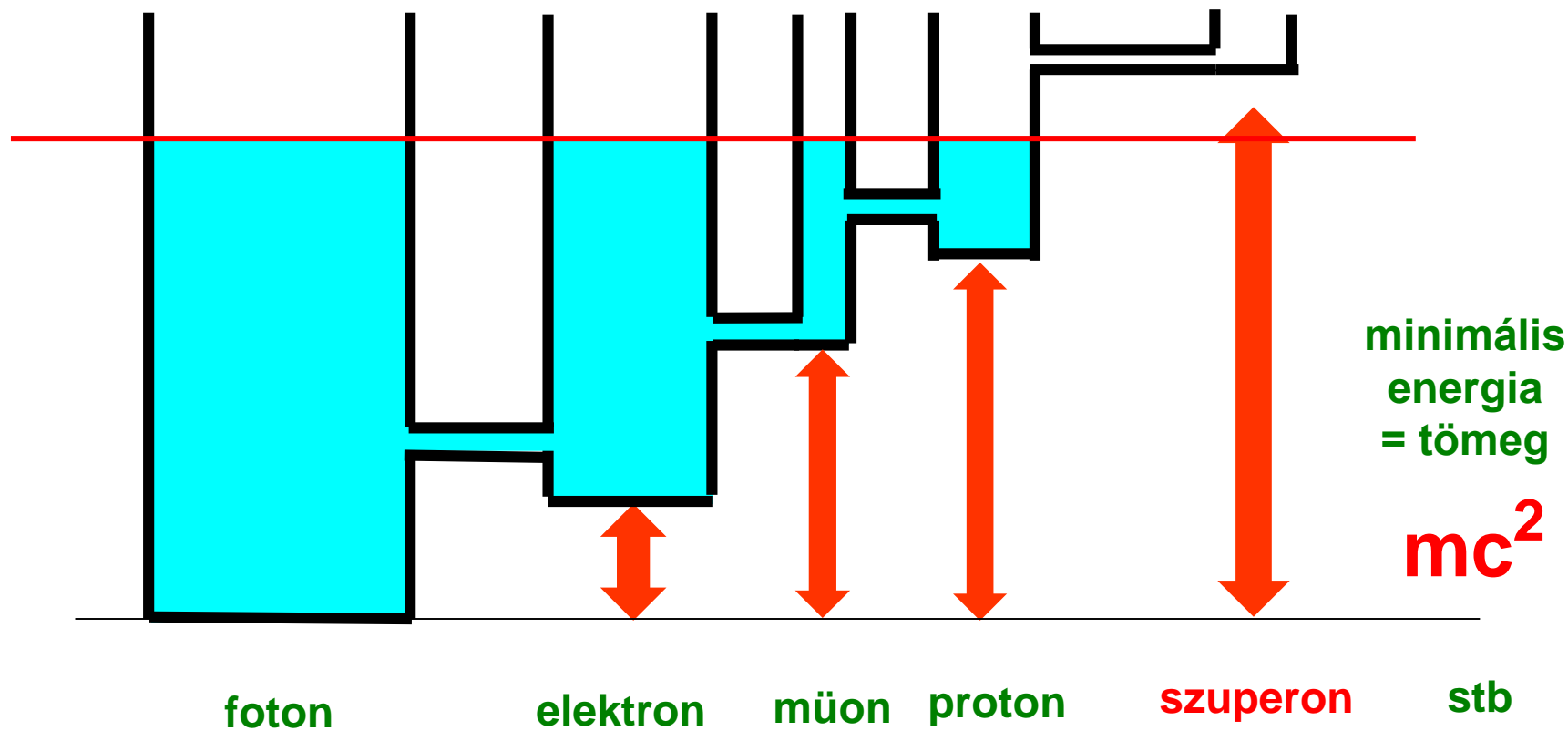
## AZ ANTIANYAG TITKA

a modern fizika egyik legnagyobb megoldatlan rejtélye

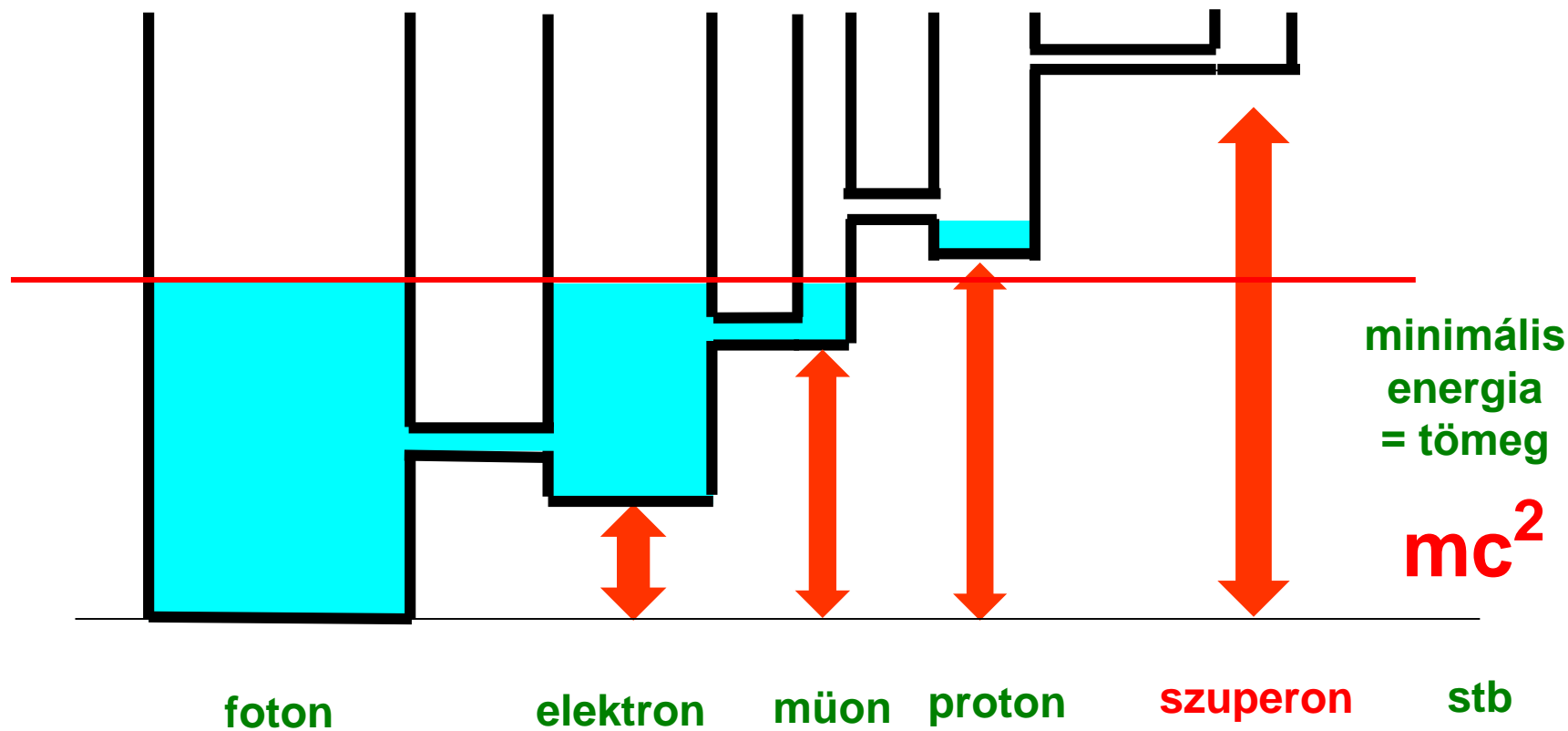
# Az ősi tűzgömbben jelen lévő részecskefajták egyensúlyának NEM adiabatikus modellje



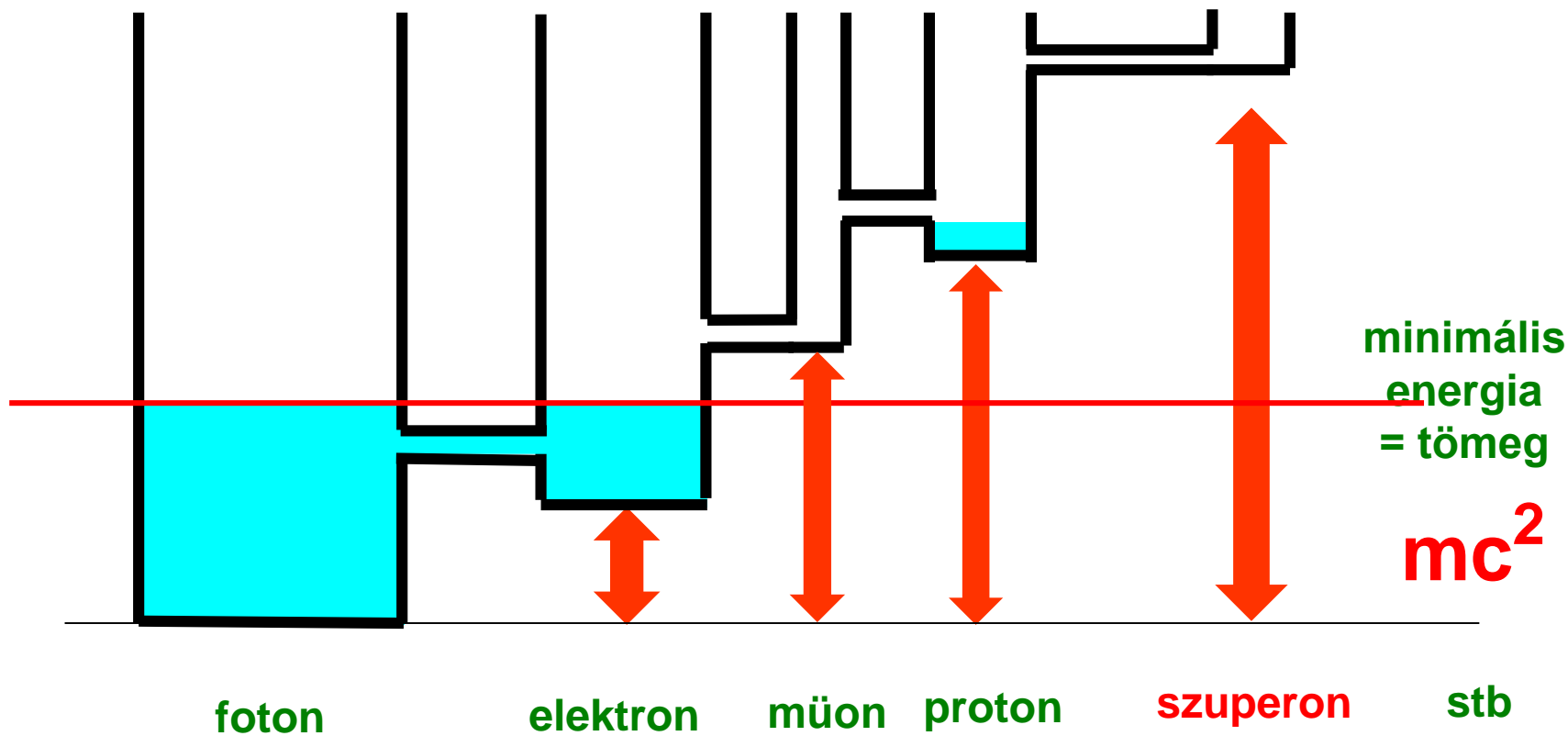
# Az ősi tűzgömbben jelen lévő részecskefajták egyensúlyának NEM adiabatikus modellje



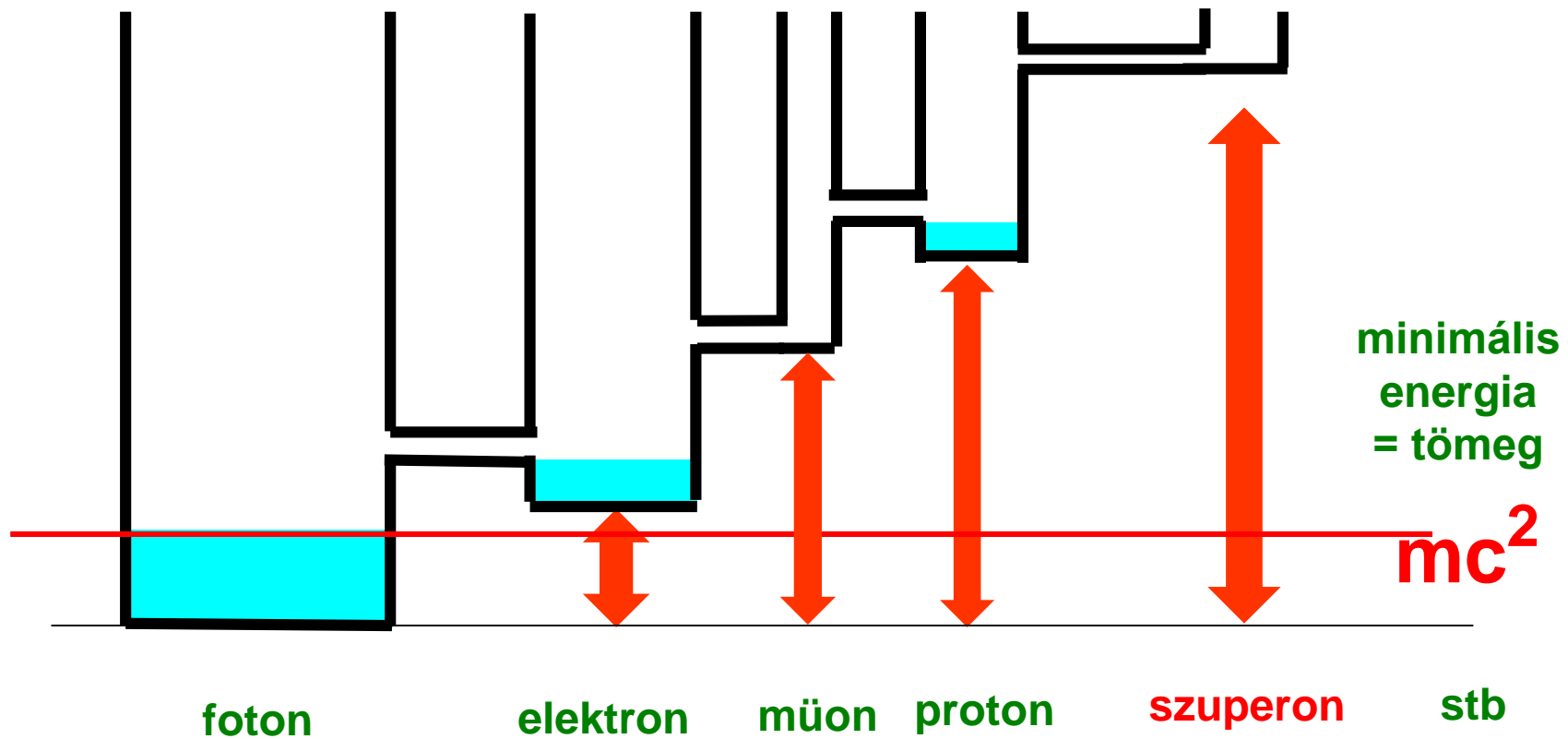
# Az ősi tűzgömbben jelen lévő részecskefajták egyensúlyának NEM adiabatikus modellje



# Az ősi tűzgömbben jelen lévő részecskefajták egyensúlyának NEM adiabatikus modellje



# Az ősi tűzgömbben jelen lévő részecskefajták egyensúlyának NEM adiabatikus modellje





## Az utolsó felvonás

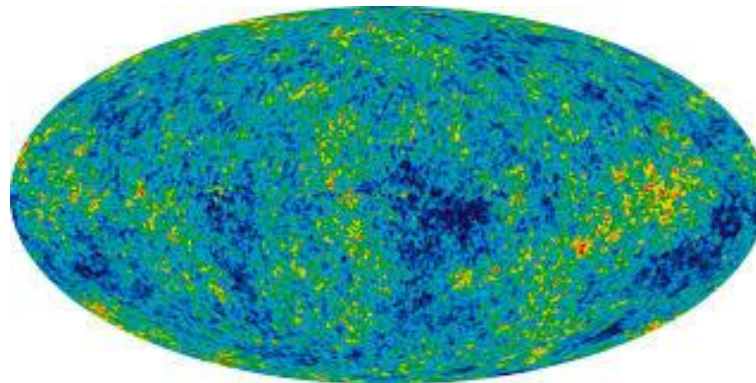
a sok foton között elenyésző kisebbségben megmaradt protonok és elektronok **plazmát** alkotnak, és egyensúlyban vannak a fotonokkal

**a rendszer tovább tágul és hűl**

a hőmérséklet egyszer csak megközelíti a p-e kötött állapot **(a hidrogénatom)** kötésenergiáját

**380 000 évvel** a Nagy Bumm után létrejönnek **az első atomok**

innen a **sugárzás** a saját termodinamikai törvényei szerint hűl, és továbbra is Planck-eloszlású marad



az elválás előtti utolsó közös fotó

a hideg fotonoknak már nincs energiájuk szétverni a H-atomokat sőt áthatolnak rajtuk – mert a H-gáz átlátszó

a gáz pedig **gravitációsan instabil** lesz, és sűrűsödni kezd

kialakulnak a **galaxisok és a csillagok**

## A hajdani hőhalál rövid története

Tulajdonképpen „**hőélet**” volt

Az ősi tűzgömbben ott nyüzsgött mindenki, aki létezett

De az Univerzum tágulása miatt **a körülmények lassan változtak**

A **gyors és mozgékony** szereplők **adiabatikusan** igazodtak a változó körülményekhez

A **nehéz és lassú** szereplők nem bírták a tempót, kiestek a táncból, és lassan **kihaltak**

De a hőmérséklet csökkenésével a korábbi gyors és könnyű részecskék is lassúak és nehezek lettek

Így lassan mindenki kihalt a hőhalál hajdani szereplői közül

Kivéve néhány eltévedt és életben maradt dinoszauruszt (proton és elektron)

Ezek végül összekapaszkodtak és **ideiglenes struktúrákat alkottak**

Még ma is élnek, ha meg nem haltak – de ami késik, az nem múlik: egyszer a proton is elpárolog majd

**A sugárzás magára maradt**, mert már nincs kivel egyensúlyban lennie

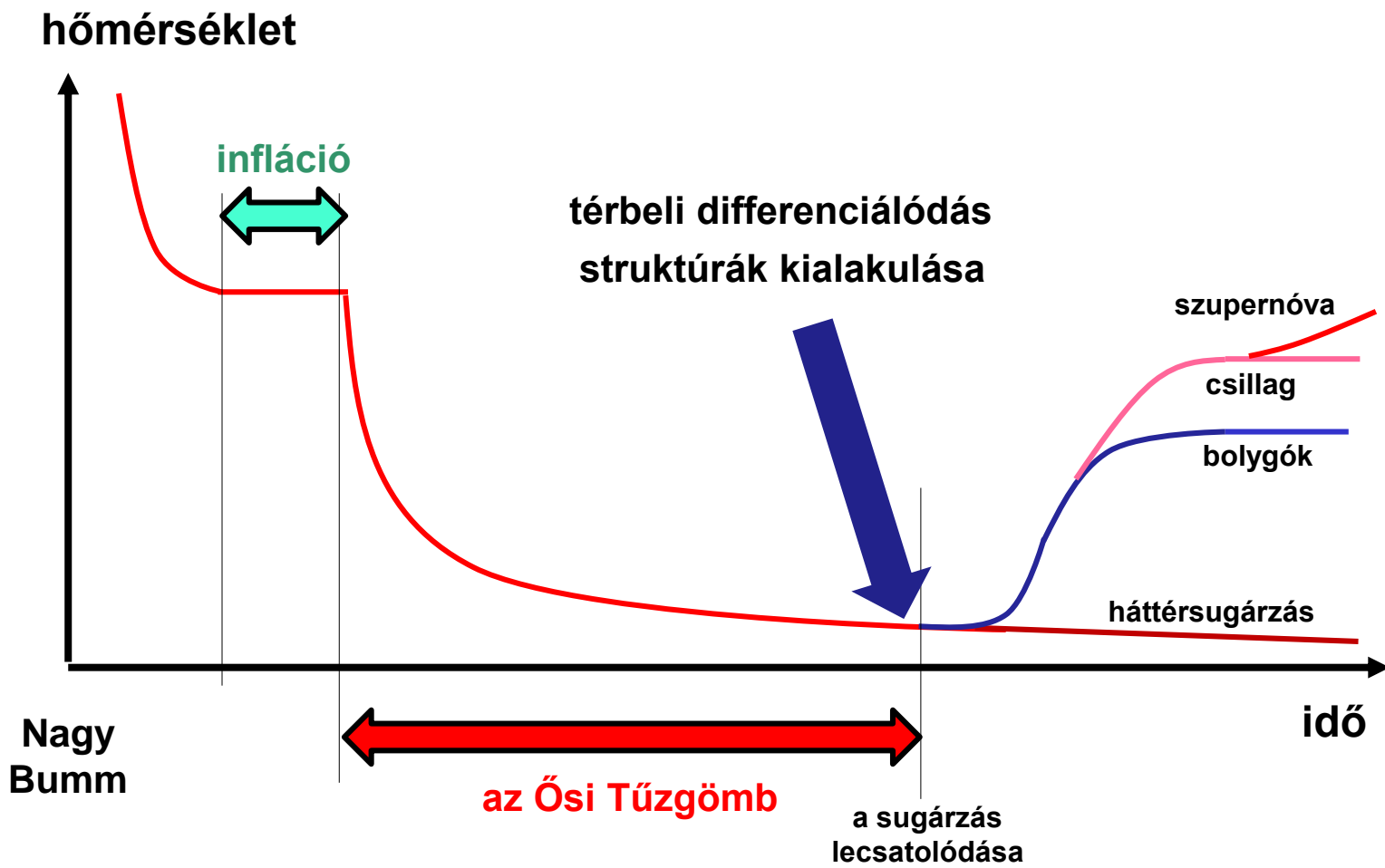
De nosztalgiából **őrzi a Planck-eloszlást**, és ma is azt játssza, mintha valami titokzatos hideg test hősugárzása lenne

**És lassan hűl az idők végezetéig.**

**A sztorit vezényelte:  
a termodinamika második főtétele és végrehajtási utasítása**



# Az Univerzum hőmérsékletének rövid története



## Mit szól mindehhez a termodinamika híres Második Főtétele?

Ez a tétel nem egy állapotról szól, hanem egy **folyamatról**: arról, hogy bizonyos feltételek mellett **beáll** a termodinamikai egyensúly.

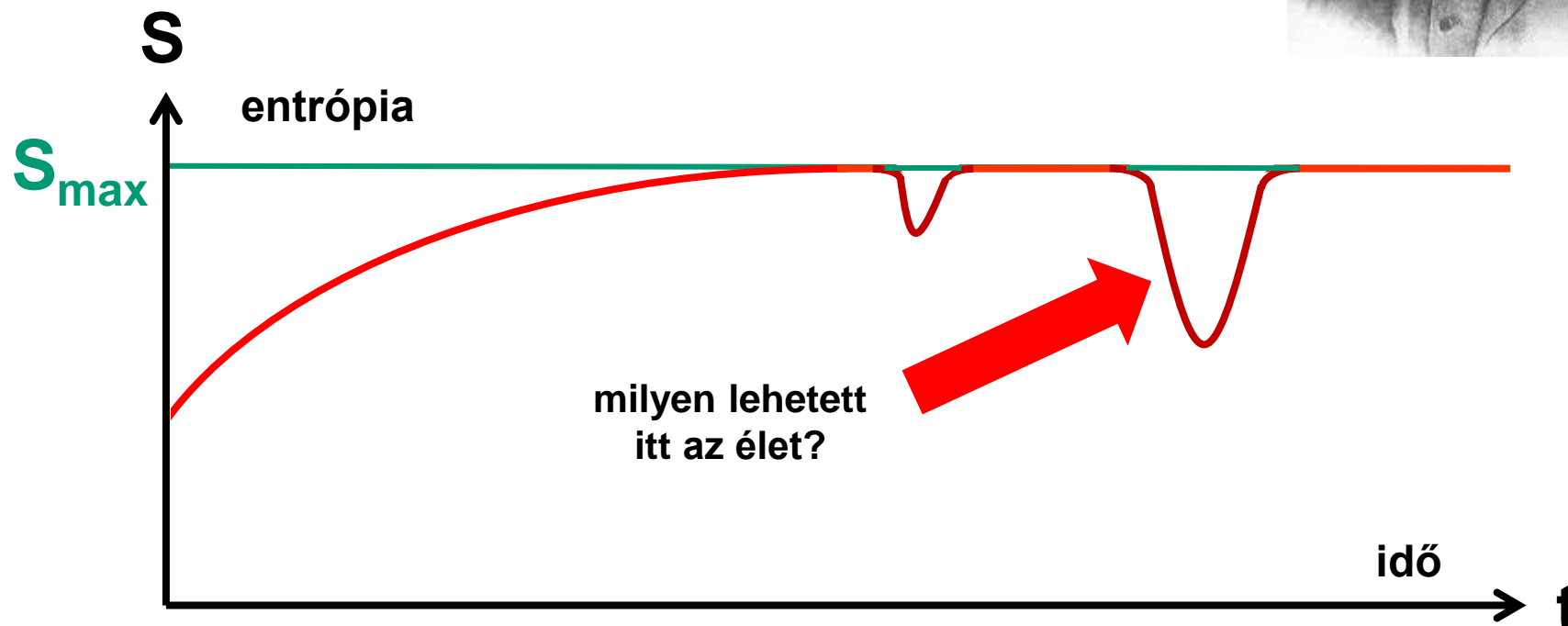
**A feltételek: a rendszer elemeinek gyakori és intenzív kölcsönhatása, energiacseréje.**

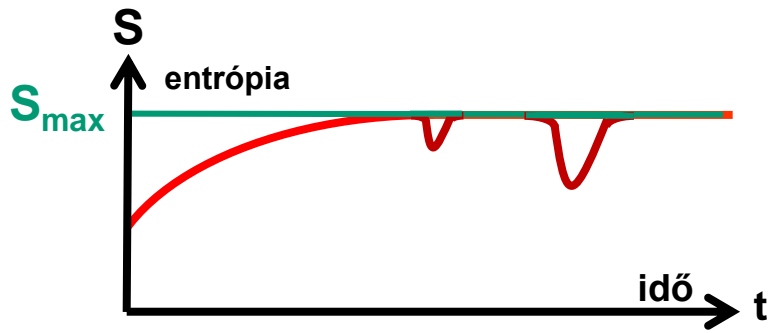
Ha ezek bizonyos esetekben nem állnak fenn, akkor az egyensúly beállása **prolongálódik** vagy **elmarad**.

A környezet paramétereinek lassú változását a rendszer **adiabatikusan követi** – ha tudja.

Ha a belső energiacserélő folyamatok lassabbak, mint a környezet változása, akkor nincs adiabatikus követés, **a rendszer nem éri el az egyensúlyt.**

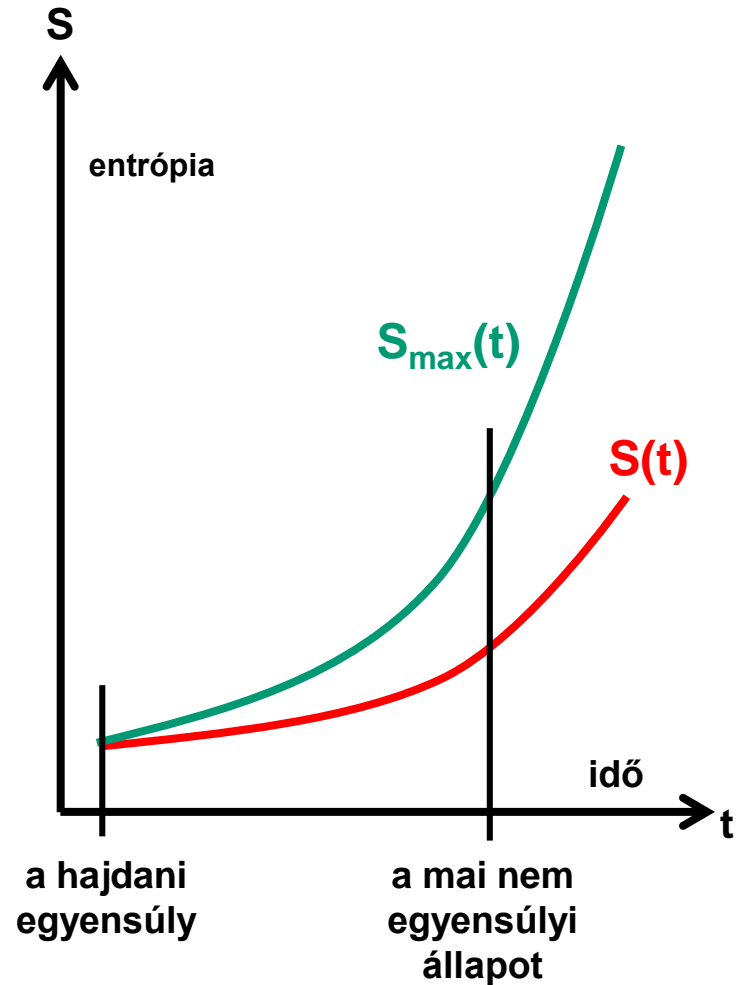
# És mit mondjunk Boltzmannnak a negatív entrópiát termelő fluktuációkról?





**A táguló Világegyetemben a lehetőségek száma, ezzel az entrópia lehetséges maximuma folyamatosan nő!**

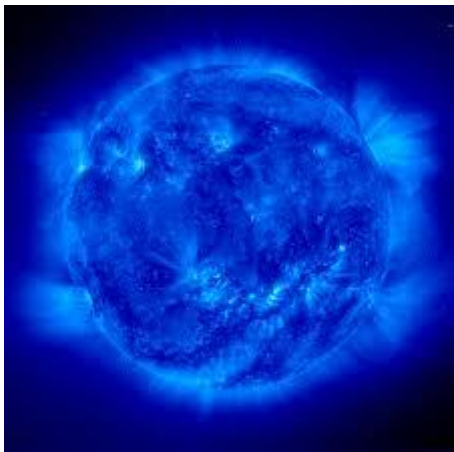
**A fizikai folyamatok állandóan növelik az entrópiát, de a relatív rendezetlenség folyamatosan csökken.**



**A mai világban azért van élet, forró sült és hideg sör, mert az Univerzum tágul!**

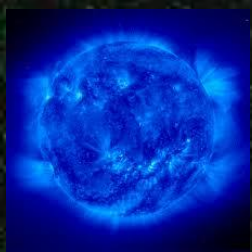


a mai világ nincs a  
hőhalál állapotában



mert az  
Univerzum  
tágu!

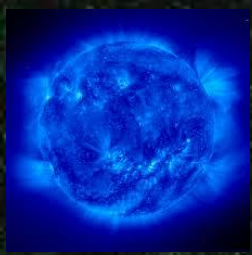
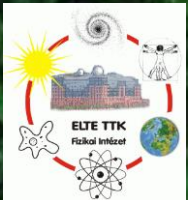






# Feltámadás a hőhalálból

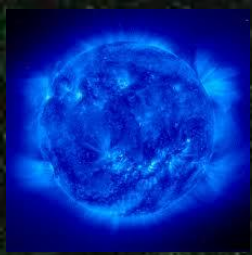
Dávid Gyula  
2023.09.14.

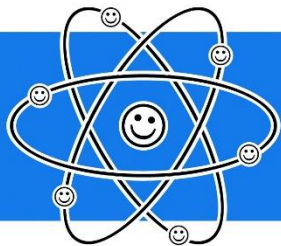


Köszönöm a figyelmet!

# Feltámadás a hőhalálból

Dávid Gyula  
2023.09.14.





## A fizika mindenkié

## BONUSKÉRDÉSEK



Az ábrán az élethez  
nélkülözhetetlen,  
a Világegyetemben  
mindenütt megtalálható

**$^{12}\text{C}$**

atom látható

Egy friss hír:  
magyar kutatók új,  
szupernehéz oxigénizotópot  
állítottak elő.

Kérdések:

**Hány elemi fermionból (kvarkból és elektronból)  
áll a  $^{12}\text{C}$  atom?**

**És a  $^{21}\text{O}$  atom?**



# Feltámadás a hőhalálból

Dávid Gyula  
2023.09.14.

