

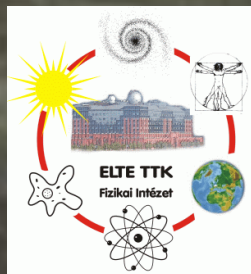


Az Élet, a Világmindenség meg Minden

az Univerzum története
a Nagy Bummtól az
értelemig és tovább
2. rész

Dávid Gyula
2024. 11. 05.

Az atomoktól a csillagokig
huszadik évad



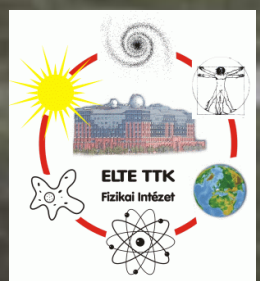


Az Élet, a Világmindenség meg Minden

az Univerzum története
a Nagy Bummtól az
értelemig és tovább
2. rész

Dávid Gyula
2024. 10. 04.

Az atomoktól a csillagokig
huszadik évad



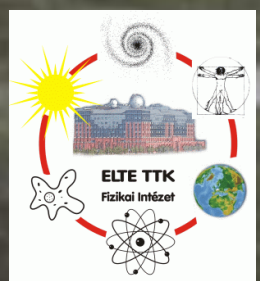


Az Élet, a Világmindenség meg Minden

az Univerzum története
a Nagy Bummtól az
értelemig és tovább
2. rész

~~David C. Julia
2004. 10. 04.~~

Az atomoktól a csillagokig
huszadik évad



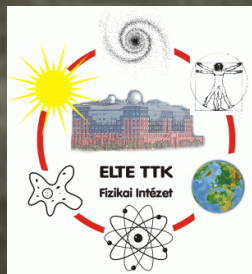


Az Élet, a Világmindenség meg Minden

az Univerzum története
a Nagy Bummtól az
értelemig és tovább
2. rész

Dávid Gyula
2024. 11. 05.

Az atomoktól a csillagokig
huszadik évad







Az Élet, a Világmindenség meg Minden





Az Élet, a Világmindenség meg Minden

az Univerzum története
a Nagy Bummtól az
értelemig és tovább
2. rész





Az Élet, a Világmindenség meg Minden

az Univerzum története
a Nagy Bummtól az
értelemig és tovább
2. rész

Dávid Gyula
2024. 11. 05.



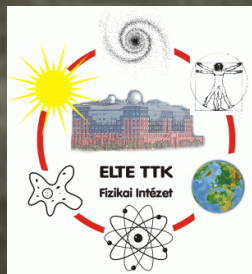


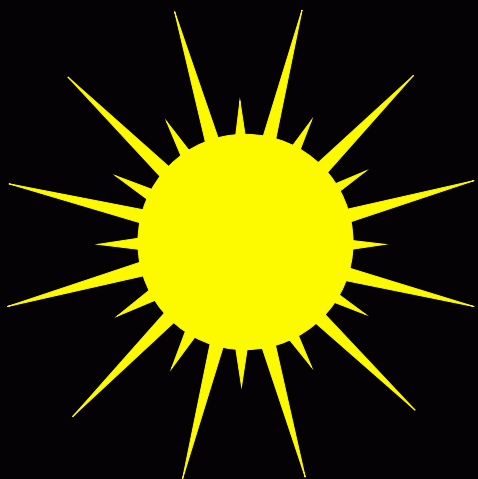
Az Élet, a Világmindenség meg Minden

az Univerzum története
a Nagy Bummtól az
értelemig és tovább
2. rész

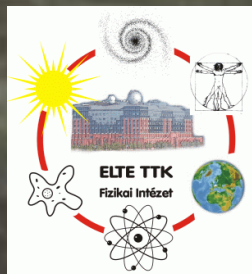
Dávid Gyula
2024. 11. 05.

Az atomoktól a csillagokig
huszadik évad

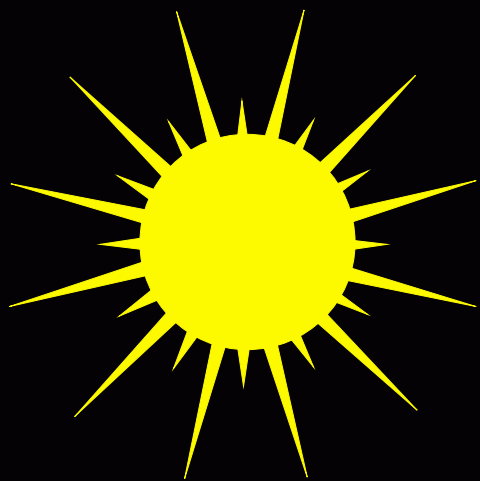




Dávid Gyula
2024. 11. 05.

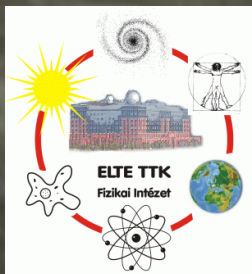


Az atomoktól a csillagokig
huszadik évad



Dávid Gyula
2024. 11. 05.

Az atomoktól a csillagokig
huszadik évad



Előszó

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

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



Előszó

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

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



Azóta eltelt egy évszázad

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

hihetetlen mértékű fejlődésével.

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

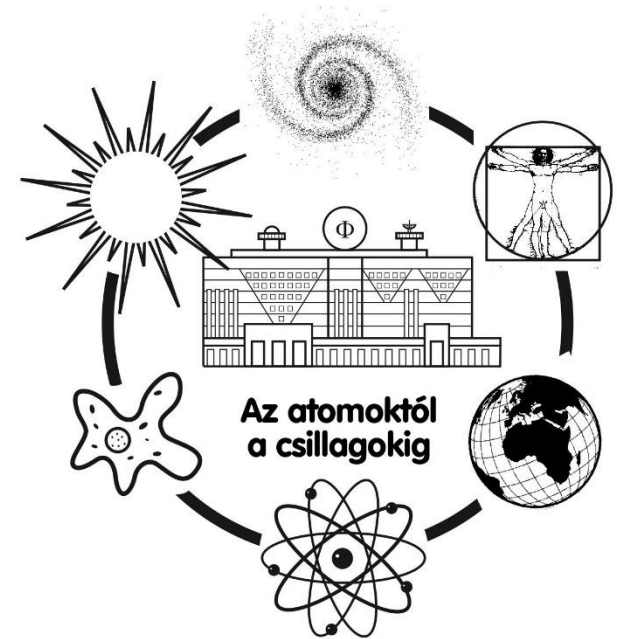
(legalábbis nagy vonalakban)



Előszó

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

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



Azóta eltelt egy évszázad

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

hihetetlen mértékű fejlődésével.

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

(legalábbis nagy vonalakban)

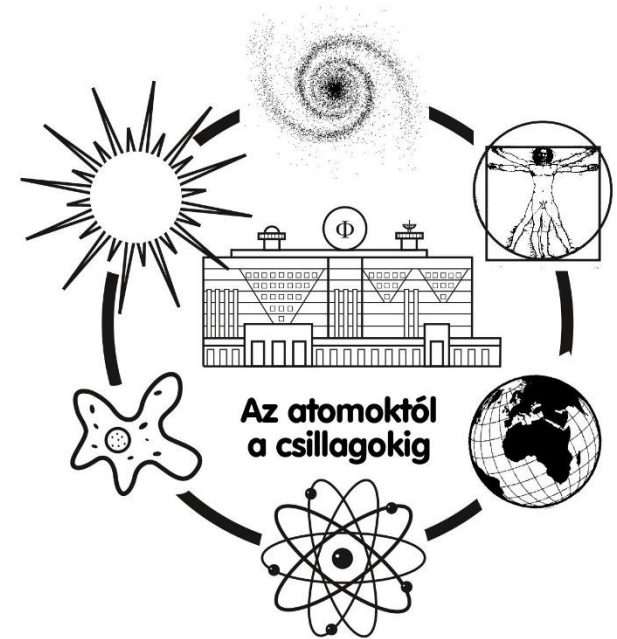
Előszó

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

Ezért a múltkor csak az első részt mondtam el.

Második rész egy extra Atomcsill előadáson:
2024. november 5.
kivételesen kedden 17 órakor.

Azaz MOST!



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

(legalábbis nagy vonalakban)



dgy: Határtalan (?) Világegyetem
Atomcsill, 2019.01.17

dgy: Gravitáció és geometria
Atomcsill, 2014.09.18

dgy: A következő 137 kvintillió év
Atomcsill, 2021.09.09

dgy: Szimmetriák és reaktorok
Atomcsill, 2017.11.16

dgy: Struktúrák térben és időben
Atomcsill, 2019.10.10

dgy: Relativisztikus paradoxonok
Atomcsill, 2009.01.15

dgy: Feltámadás a hőhalálból
Atomcsill, 2024.09.14

dgy: A fekete fény
Atomcsill, 2015.09.10

dgy: Az Univerzum anyagai
Atomcsill, 2010.09.30

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

dgy: Kirándulás a nukleáris völgybe
Atomcsill, 2011.09.29

dgy: A sötét anyag nyomában
Atomcsill, 2016.09.08

dgy: A lehűléstől forrósodó téglá
Atomcsill, 2012.01.19

dgy: Hamuval fűteni
Atomcsill, 2013.01.10

dgy: Szupernóva
Atomcsill, 2013.09.19



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

Kis-Tóth Ágnes:
Fekete lyukak
Atomcsill, 2022.01.27

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

Gruiz Márton:
A káosz fizikája
Atomcsill, 2010.01.14

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

Jánosi Dániel:
Amikor a káosz sem állandó
Atomcsill, 2024.01.25

Raffai Péter:
Csillagászat gravitációs hullámokkal
Atomcsill, 2017.04.06

Cserti József:
Eötvöstől Einsteinig
Atomcsill, 2014.09.11



Kovács András: Sötét energia
Atomcsill, 2024.03.21

Nógrádi Dániel: Túl a Standard Modellen
Atomcsill, 2022.03.24

Csabai István: Az Univerzum 3D térképe
Atomcsill, 2015.11.19

Vigh Máté: Rend a rendezetlenségből
Atomcsill, 2023.04.13

Sótér Anna: Mérlegen az antianyag
Atomcsill, 2015.03.12

Katz Sándor: Az axion mint sötét anyag
Atomcsill, 2018.04.12

Patkós András: Részecskék az Univerzumban
Atomcsill, 2006.02.16

Lájer Márton: Erős kölcsönhatás
Atomcsill, 2022.12.08

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

Nógrádi Dániel: Elemi részecskék
Atomcsill, 2016.04.14

Geszti Tamás: Kvantummechanika
Atomcsill, 2007.11.22

Katz Sándor: Az anyag eredete
Atomcsill, 2007.09.27

Katz Sándor: A látható világegyetem tömege
Atomcsill, 2010.04.22



További kapcsolódó előadások az Atomcsill jubileumi, huszadik évadában:

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

Cserti József:
Nem élhetünk kvantummechanika nélkül
Atomcsill, 2025.01.09

Csordás András:
Statisztikus fizika, fázisátalakulások
Atomcsill, 2025.02.20

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

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

Ezek is elérhetők
lesznek: atomcsill.elte.hu

Katz Sándor:
Az elemi részecskék fizikája
Atomcsill, 2025.04.03



Az Élet, a Világmindenség meg Minden

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

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



Az Élet, a Világmindenség meg Minden

az Univerzum története
a Nagy Bummtól az
értelemig és tovább

1. Az Univerzum

2. A téridő

3. A tágulás dinamikája

4. Az anyag

5. Az Univerzum anyagának szabályos története

6. Hoppá! Egy meglepő közjáték

7. A hetedik te magad légy!



Mi az Univerzum?

Tévhitek az Univerzumról

filozófiai fogalom

MINDEN

definíció szerint végtelen
(térben és időben)

kiismerhetetlen

puszta gondolkodással
tanulmányozandó

Tények az Univerzumról

fizikai fogalom

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

ez tapasztalati kérdés

megismerhető, megérthető

a természettudomány módszereivel
vizsgálható



Megismerési módszer

Alapja: **a világ anyagi egysége**

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

csillagászati megfigyelések

- objektumok
- eloszlásuk
- tulajdonságaik
- az Univerzum tágulása

a Földön megismert fizikai törvények

- kvantumelmélet
- relativitáselmélet
- termodinamika
- részecskefizika

néhány tapasztalaton alapuló hipotézis

matematika + számítógépek

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

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

output: **az Univerzum és alkotórészeinek története**



Milyen az Univerzum?

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

+ érdekes!



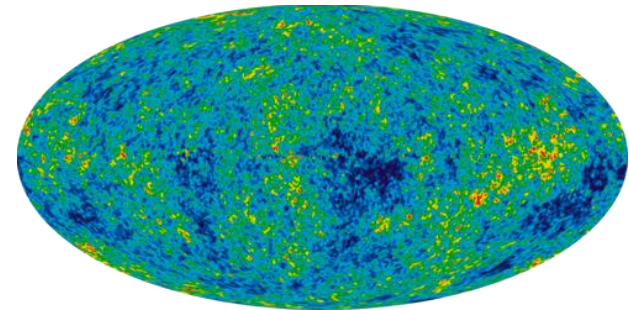
Milyen az Univerzum?

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

honnan tudjuk?

az anyageloszlás nagy léptékben homogén

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



a sík asztallap térképe

az izotrópiából következik a homogenitás

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



Félig rossz kérdések a tágulásról

Mi a tágulás hajtóereje?

Egyszerű válaszok

Nincs szükség külön
„hajtóerőre”.

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

Mint Galilei és Newton
fizikájában az egyenes
vonalú egyenletes mozgás.

dgy:

Határtalan (?) Világegyetem
Atomcsill, 2019.01.17

(szemben az ókorral)



Az Élet, a Világmindenség meg Minden

az Univerzum története
a Nagy Bummtól az
értelemig és tovább

1. Az Univerzum

2. A téridő

3. A tágulás dinamikája

4. Az anyag

5. Az Univerzum anyagának szabályos története

6. Hoppá! Egy meglepő közjáték

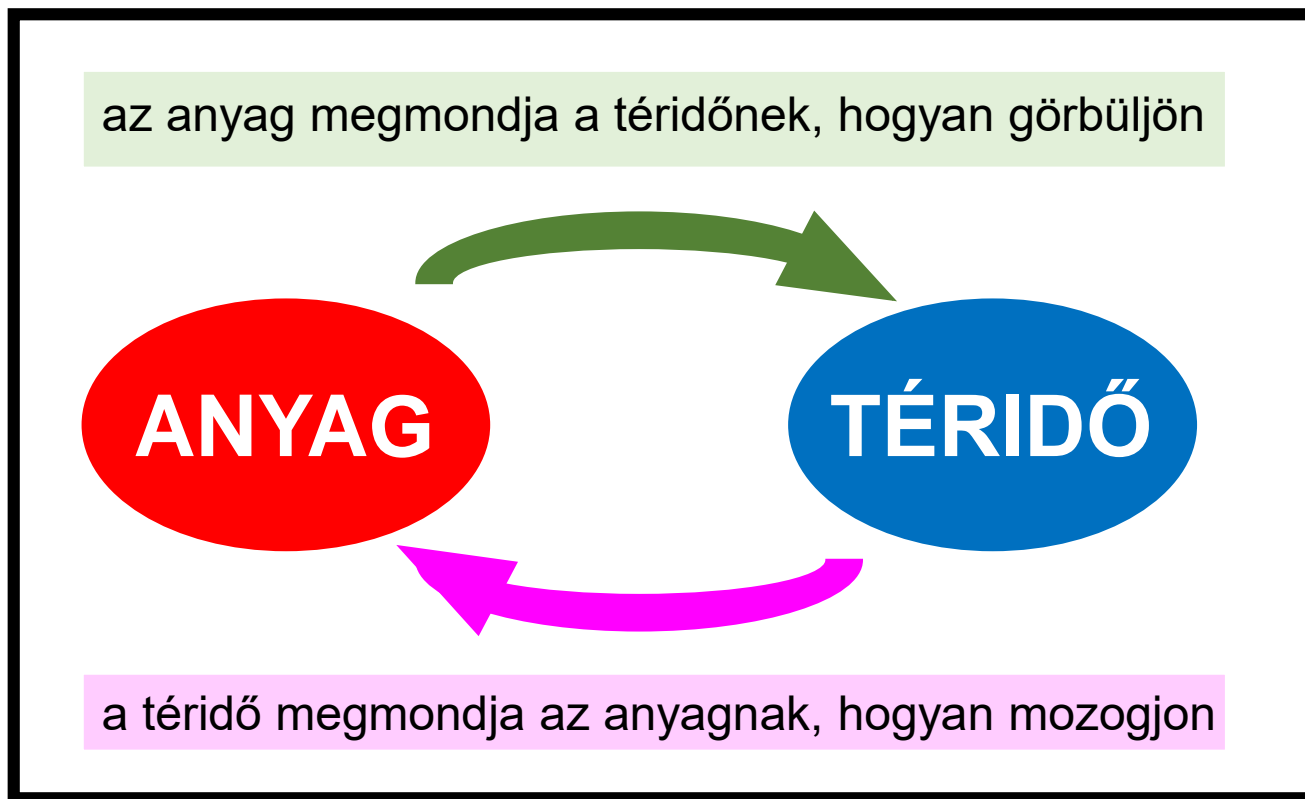
7. A hetedik te magad légy!



Mi határozza meg a téridő görbületét?

azaz
a gravitációs hatásokat?

AZ ANYAG pontosabban az anyag bizonyos fizikai jellemzői



Ezt a kölcsönös kapcsolatot írják le az általános relativitáselmélet egyenletei.



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

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

$\varepsilon(t)$

energiasűrűség

$p(t)$

nyomás

$a(t)$

skálafüggvény

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

Kapcsolatukat a GR Einstein–Fridman-egyenletei adják meg

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

$$p = f(\varepsilon)$$

Az állapotegyenlet anyagfajtánként különbözik

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



Az állapotegyenlet anyagfajtánként különbözik

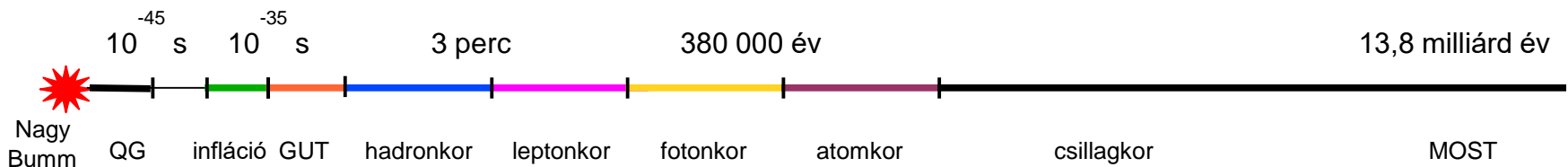
Az Univerzum történetének rekonstrukciójához tehát hozzátartozik az aktuális anyagfajta és a megfelelő állapotegyenlet meghatározása

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

ezért a más-más anyaggal töltött Univerzum más ütemben tágul

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

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



„ kozmikus érák ”

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



Az Élet, a Világmindenség meg Minden

az Univerzum története
a Nagy Bummtól az
értelemig és tovább

1. Az Univerzum

2. A téridő

3. A tágulás dinamikája

4. Az anyag

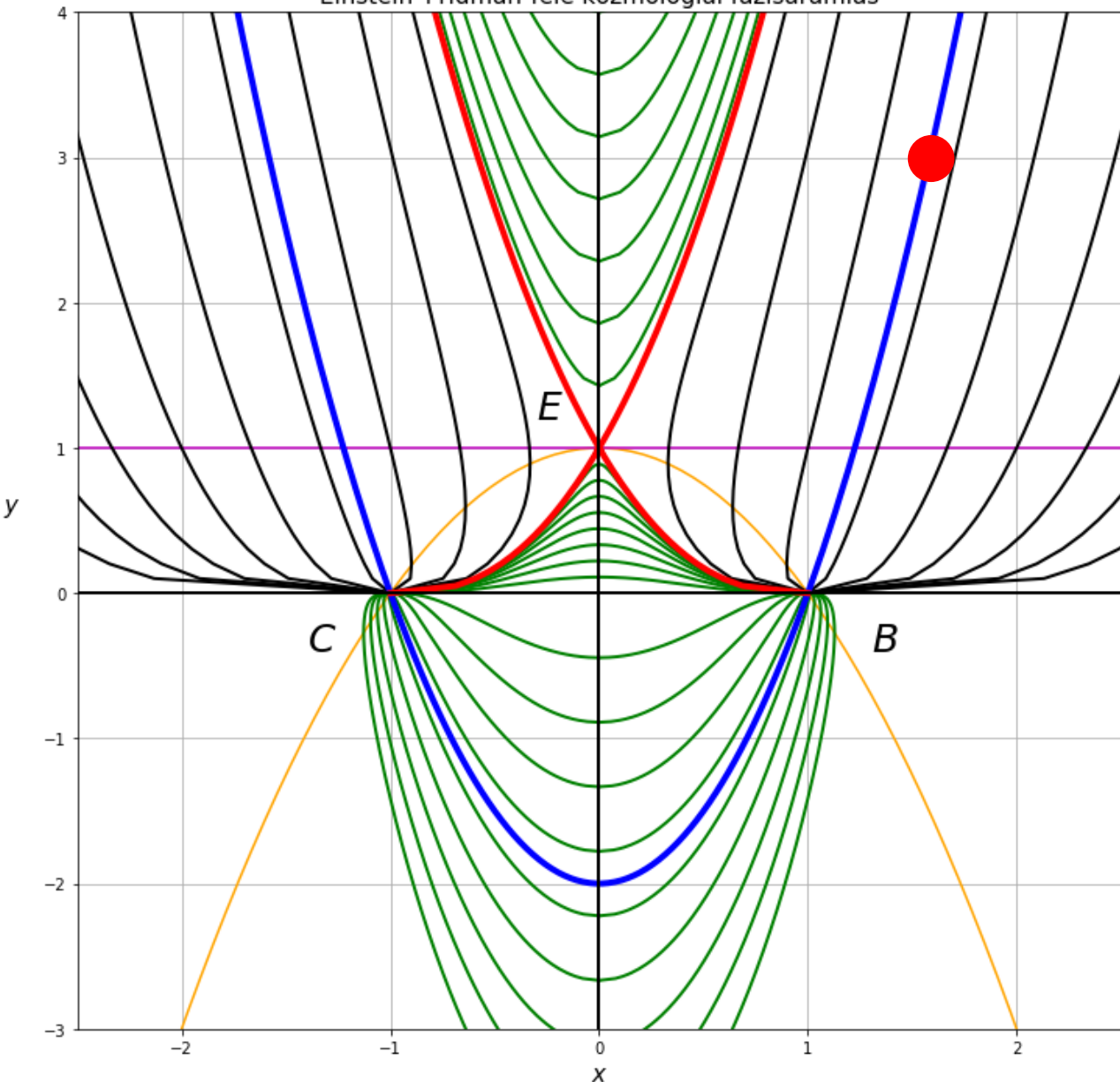
5. Az Univerzum anyagának szabályos története

6. Hoppá! Egy meglepő közjáték

7. A hetedik te magad légy!



Einstein-Fridman-féle kozmológiai fázisáramlás



kék és piros görbék:
szeparátrixok

zöld és fekete görbék:
további lehetséges
Univerzum-trajektóriák

jobboldali félsík:
táguló világ

baloldali félsík:
összeomló világ

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

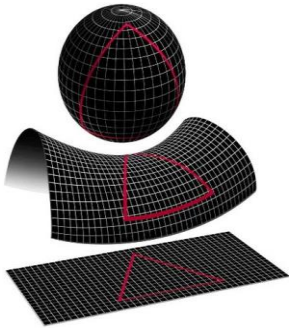
**C: Big Crunch,
a Nagy Reccs,
vonzó pont**

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

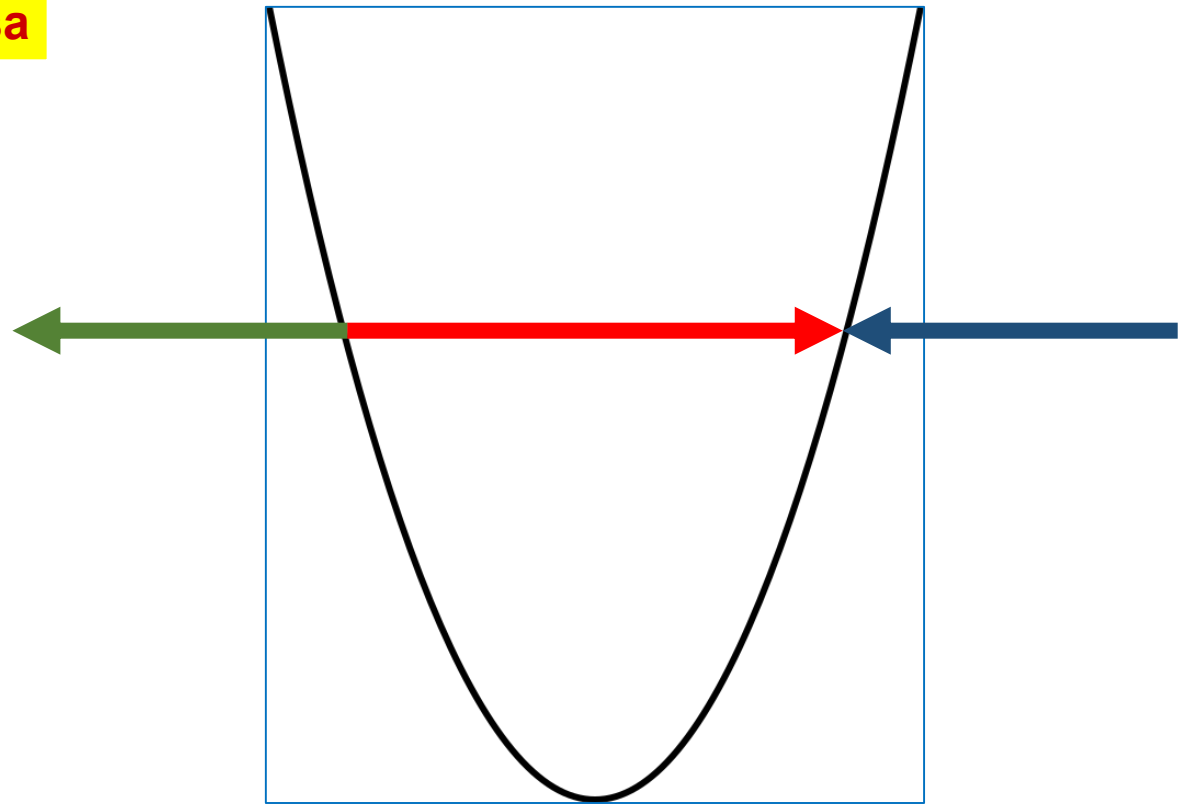


A Higgs-mező dominálta Univerzum fázisáramlása

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



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



ez a **kozmosz infláció**
korszaka



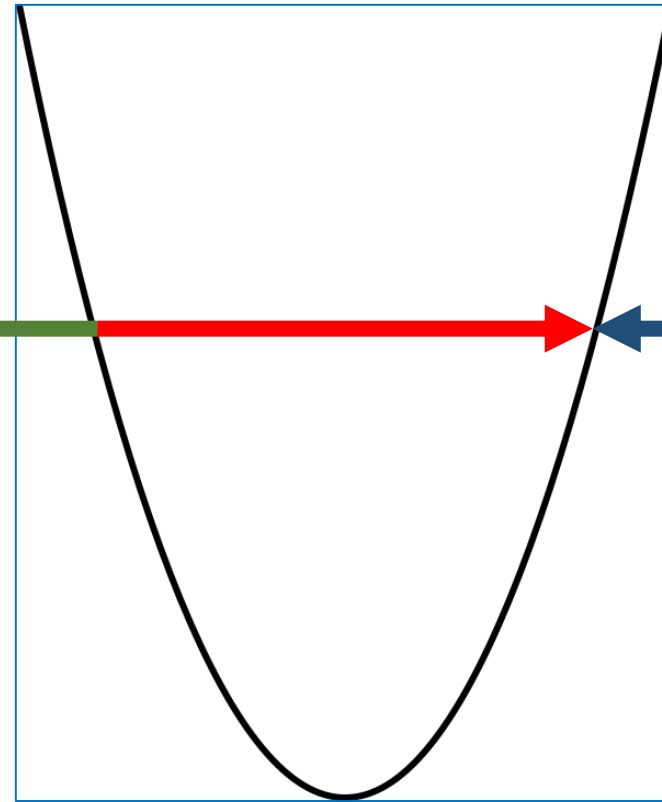
Most már megérthetjük a jelenlegi világ **nagyon furcsa, instabil állapotát:**

az inflációs időszakban „a kék görbe”, a sík téridő volt a stabil állapot

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

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

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



ez a **kozmosz infláció** korszaka



Kozmikus infláció

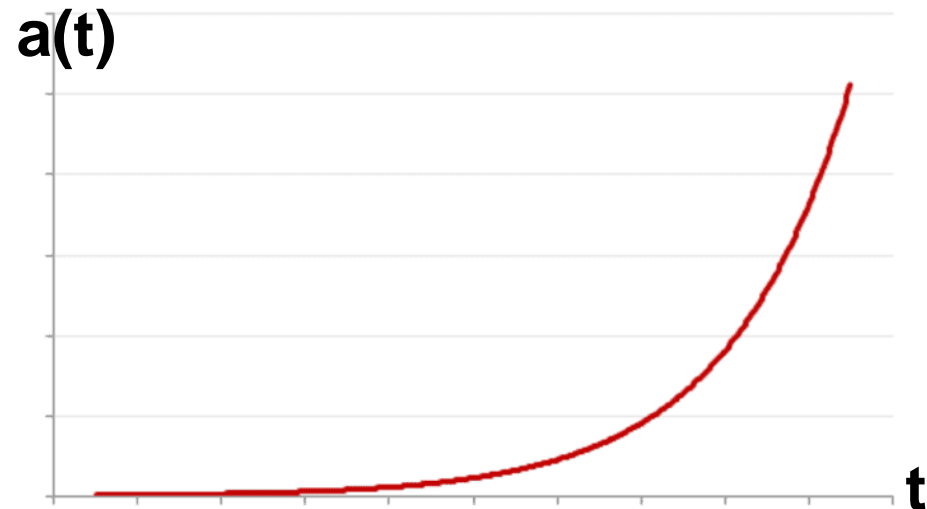
ebben a korszakban az $a(t)$ függvény exponenciálisan nőtt

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

parányi térbeli tartományok kozmikus méretűre fúvódtak fel

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

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

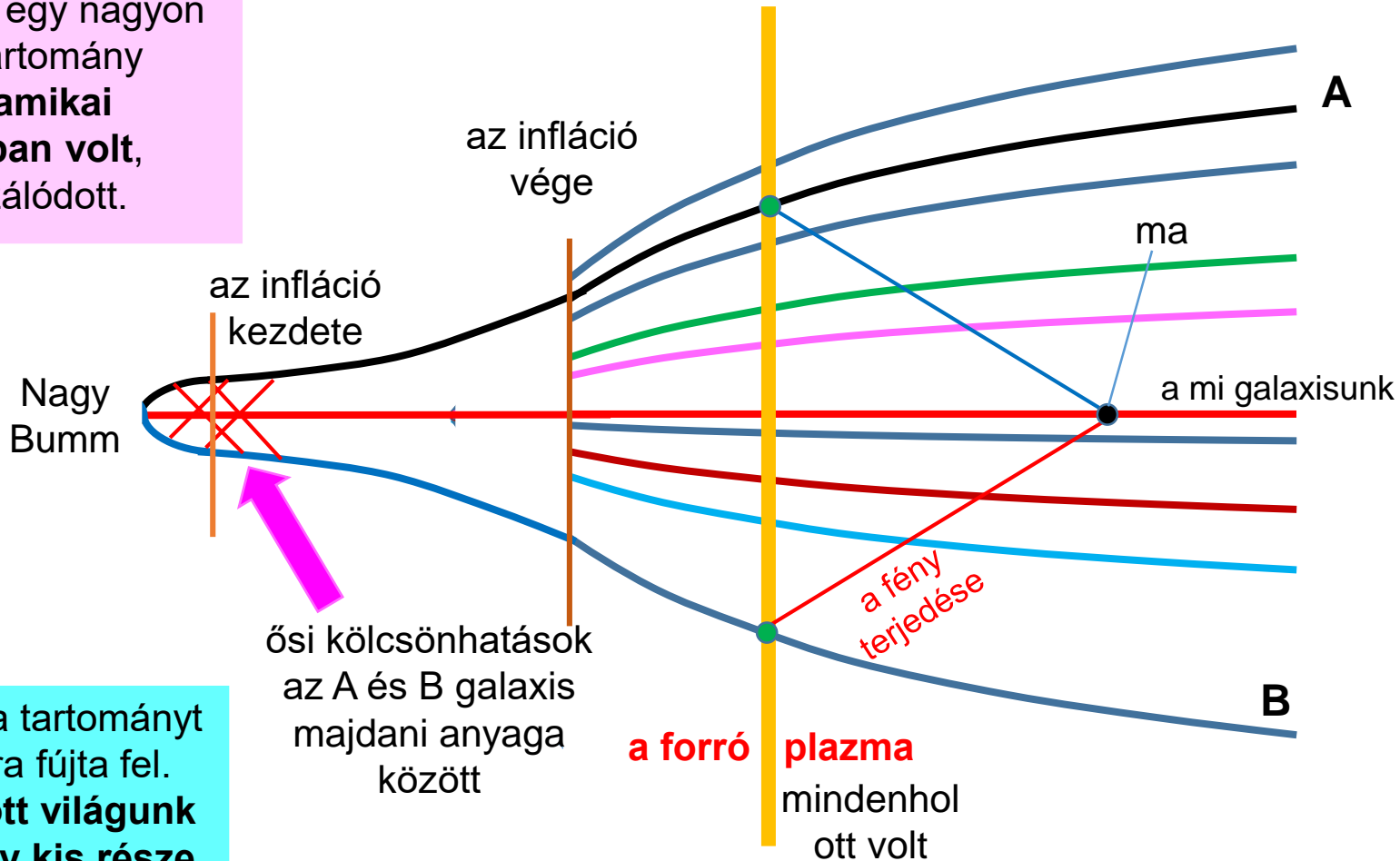


Ez a gyors felfúvódás (infláció) „**simította ki**” a téridőt majdnem pontosan síkra



Az infláció megmagyarázza a világ rejtélyes homogenitását is!

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



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



Az első két rendszerváltás

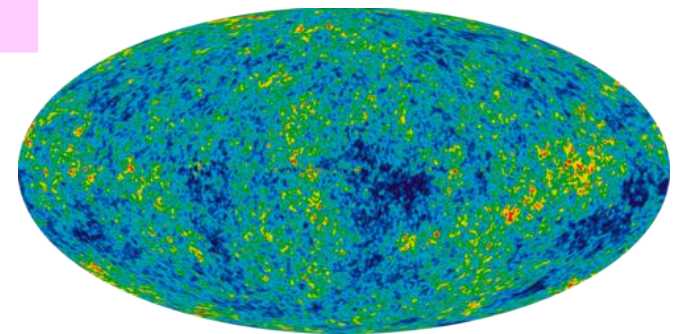
10^{-36} s – 10^{-32} s

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

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

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

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



Az infláció előnyei az Univerzum lakói számára

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

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

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

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

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



Az infláció előnyei az Univerzumot vizsgáló fizikusok számára

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

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

Ezért a fizikusok alig száz év munka után elmondhatják:

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

$$\varepsilon(t)$$

energiasűrűség

$$p(t)$$

nyomás

$$a(t)$$

skálafüggvény

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

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



Epilógus a szünet előtt

Felépítettük a színházat, és megtanultuk a játékszabályokat.

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

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

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

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

Azazhoggy...

Izé...

Hoppá...



Az Élet, a Világmindenség meg Minden

az Univerzum története
a Nagy Bummtól az
értelemig és tovább

1. Az Univerzum
2. A téridő
3. A tágulás dinamikája
4. Az anyag

5. Az Univerzum anyagának szabályos története
6. Hoppá! Egy meglepő közjáték
7. A hetedik te magad légy!



Az anyag alapvető alkotórészeinek
modern elmélete a

KVANTUM-MEZŐELMÉLET

Quantum Field Theory (QFT)

Ezek az alkotórészek

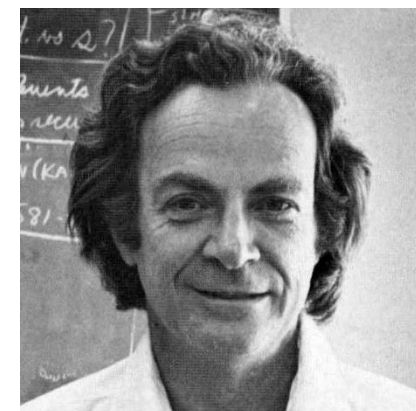
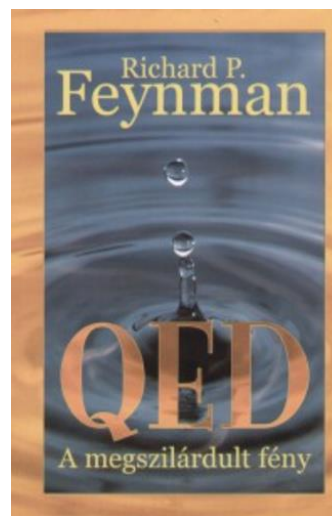
a MEZŐK

és kvantumaik,

az ELEMI RÉSZECSKÉK



Paul Dirac
1902–1984
Nobel-díj 1933



Richard Feynman
1918–1988
Nobel-díj 1965

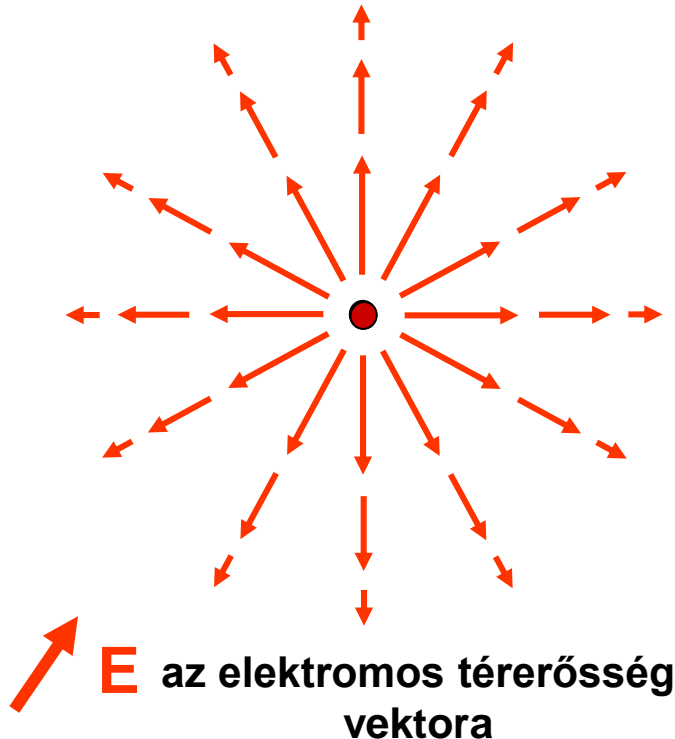


Kitérő: mi az a **MEZŐ**?

fizikai mező: folytonos eloszlású anyag

matematikai mező: a tér pontjaihoz rendelt mennyiségek

Példák: **elektromos mező egy töltés körül**



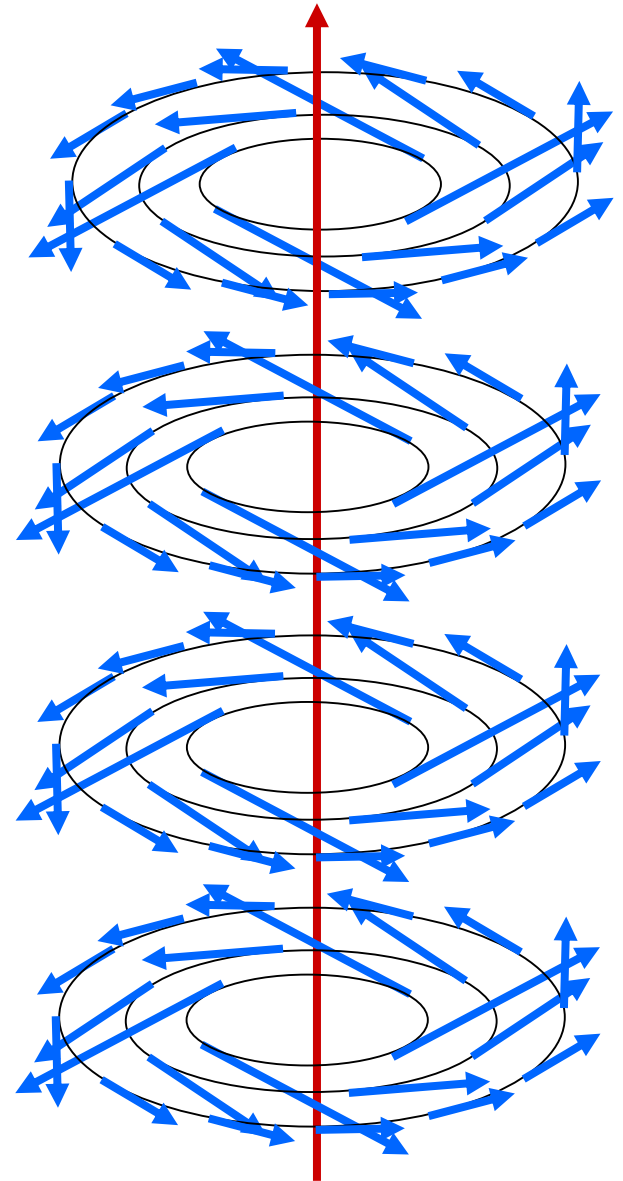
mágneses mező egy áramjárta drót körül



a mágneses térerősség vektora

a tér minden pontjában van egy vektor

ez a **VEKTORMEZŐ**



Magyarország animált szélterképe

Frissítés - 2012.09.13 01:20

(C) 2004-2012, Időkép.hu



ez is vektormező:

minden pontban egy
szélesség-vektor

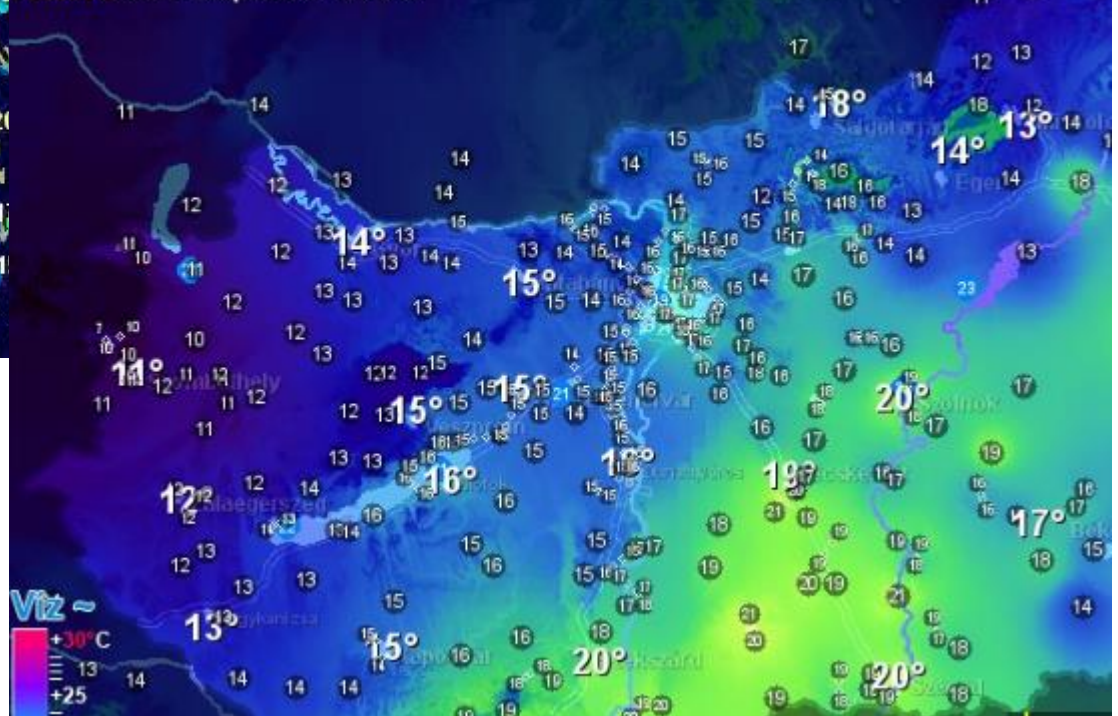
minden pontban egy
hőmérséklet-érték:
egyetlen számadat
(SKALÁR)

ez a **SKALÁRMEZŐ**

Magyarország domborzati hőterképe 15°C

Az Időkép vizualizációja

Frissítés: 2012. szeptember 13. 1:15

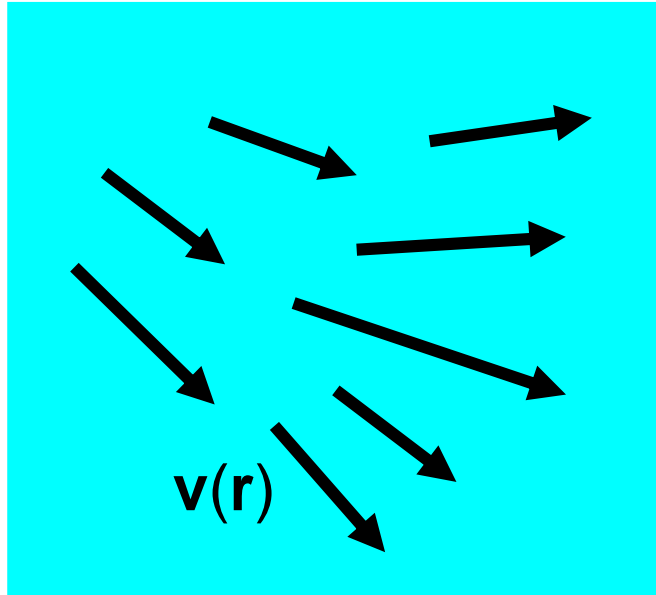


köszönet az ábrákért az Időképnek



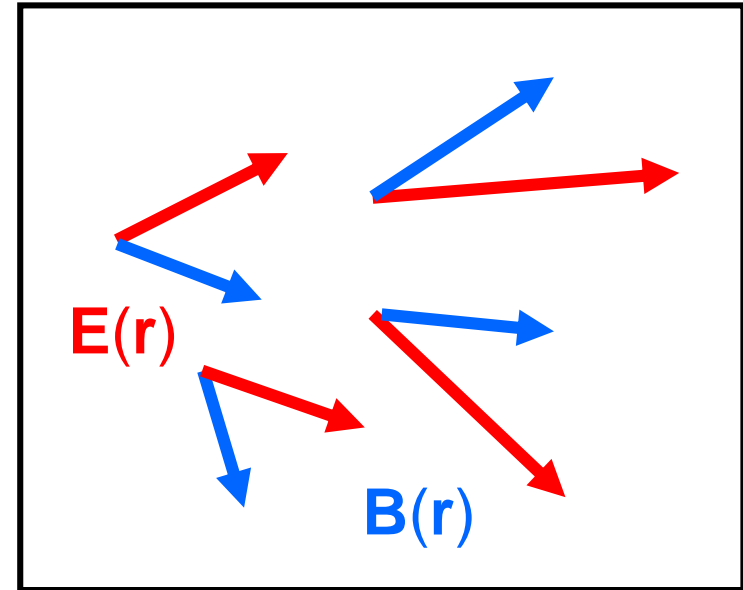
Mezők mint fizikai mennyiségek és mint anyagfajták

vízáramlás



Az áramlás $v(\mathbf{r})$ sebességmezeje **a víz nevű anyag** egyik fizikai tulajdonságának (sebességének) térbeli eloszlását írja le.

elektromágnesség



Az elektrodinamikában az $E(\mathbf{r})$ elektromos mező és a $B(\mathbf{r})$ mágneses mező maguk képviselik az **„elektromágneses mező”** nevű anyagfajtaát.

A klasszikus fizikában

Az elektromágneses mező

egy olyan fizikai mező,
azaz folytonos eloszlású
(nem atomos) anyag,

amely két (matematikai)
vektormezővel
jellemezhető:

az **E** és **B** vektorokat kell
megadnunk
a tér minden pontjában,
minden időpillanatban

A Higgs-mező

egy olyan fizikai mező,
azaz folytonos eloszlású
(nem atomos) anyag,

amely egy (matematikai)
skalármezővel
jellemezhető:

a **H** „Higgs-potenciál” értékét
kell megadnunk
a tér minden pontjában,
minden időpillanatban

A kvantumfizikában

a mezők **kvantumaik** (az elemi részecskék) egymásba alakulásával,
kibocsátásával, elnyelésével, energia-, impulzus-, perdület-, töltéscseréjével
hatnak kölcsön.



A kvantummezők típusai

bozonok $\left\{ \begin{array}{l} \text{skalármező} \\ \text{vektormező} \end{array} \right.$

fermionok — spinormező

a jelenleg ismert
elemi kvantummezők,
illetve részecskék

a fermionokhoz
antirészecske is tartozik

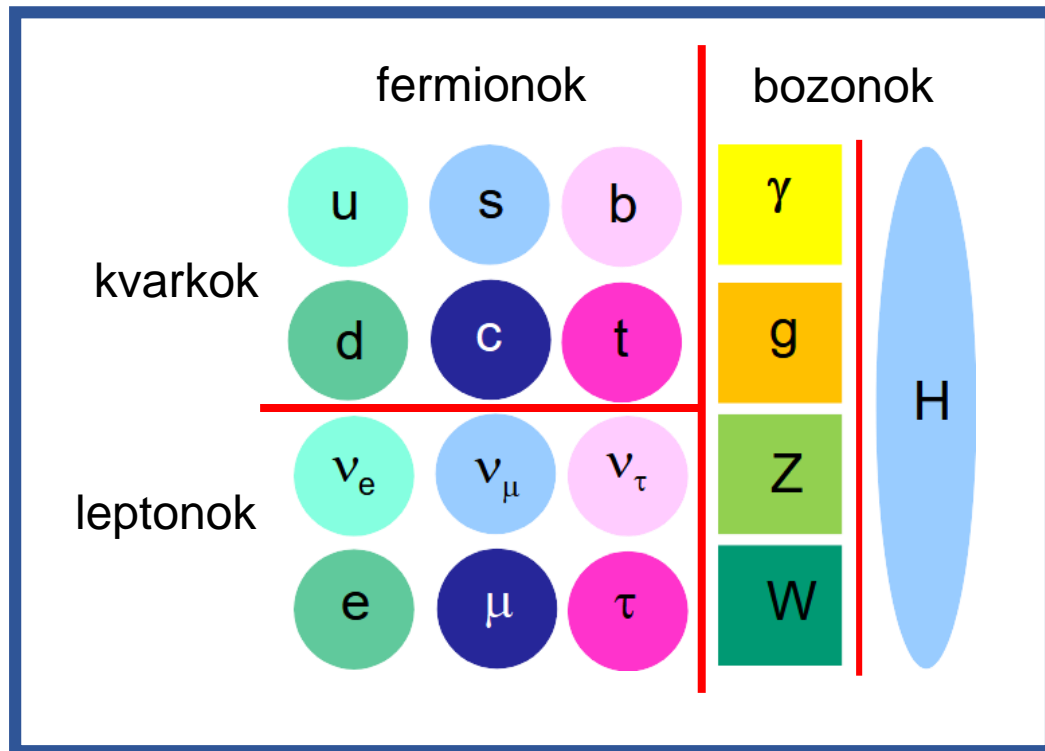
Katz Sándor:
Az elemi részecskék fizikája
Atomcsill, 2025.04.03

példák

Higgs-mező, inflaton

foton, gluon, W és Z-bozon

elektron, kvark, neutrínó



A kvantummezők részecskéinek kölcsönhatásai

A mezők kölcsönhatásait a „**csatolási állandó**” szabja meg. Ha ez nulla, nincs kölcsönhatás. (Pl. neutrínó és foton között.)

A kölcsönhatások során a **fermion kvantumok (előjeles) száma** megmarad, a többi részecske száma változhat.

A kölcsönhatások során az energia, az impulzus, az elektromos és más töltések száma **megmarad**.

A részecskefizika Murphy-törvénye

Amelyik átalakulást valamilyen megmaradási tétel vagy a csatolás hiánya **nem tilt, az megvalósul**.

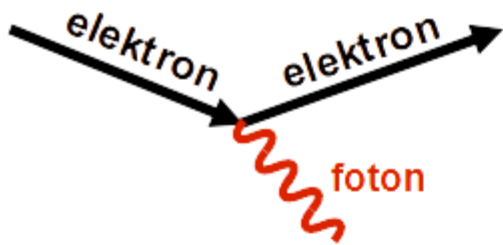
Végrehajtási utasítás

Megvalósul, **kisebb-nagyobb valószínűséggel**.
Ez a valószínűség a csatolási állandóktól, a töltésjellegű kvantumszámoktól és általában a **részecskék energiájától** is függ.

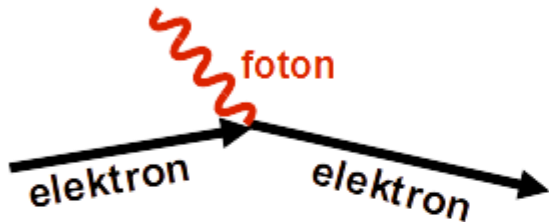


Fermionok elemi kölcsönhatásai

→ IDŐ



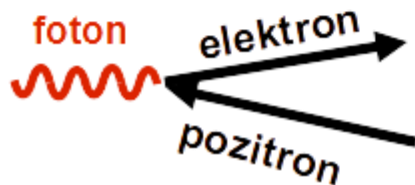
kisugárzás



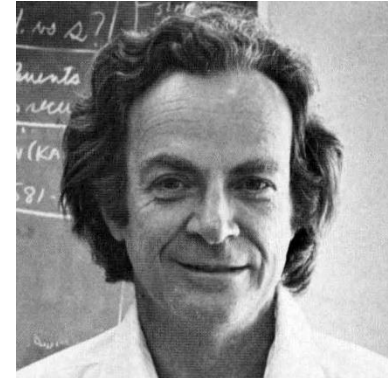
elnyelés



„annihiláció”



párkeltés

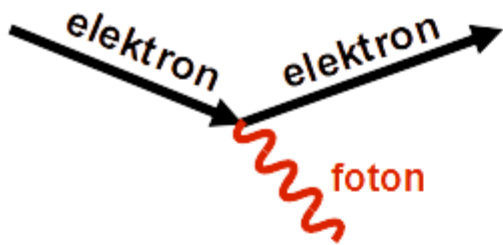


Feynman-
diagramok

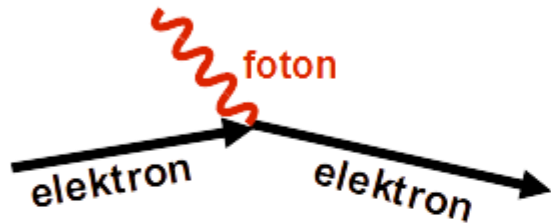
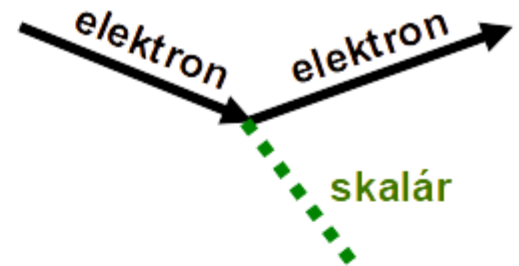


Fermionok elemi kölcsönhatásai

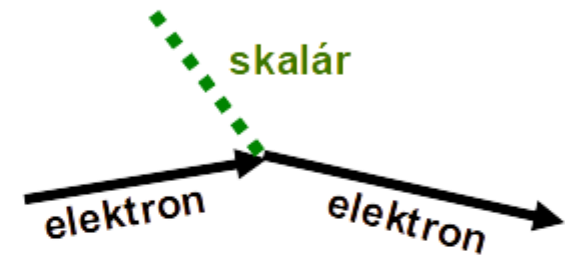
→ IDŐ



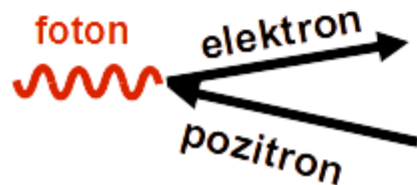
kisugárzás



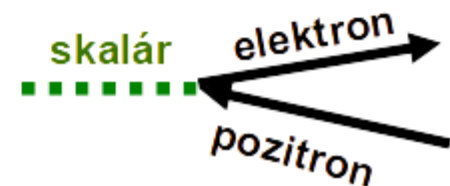
elnyelés



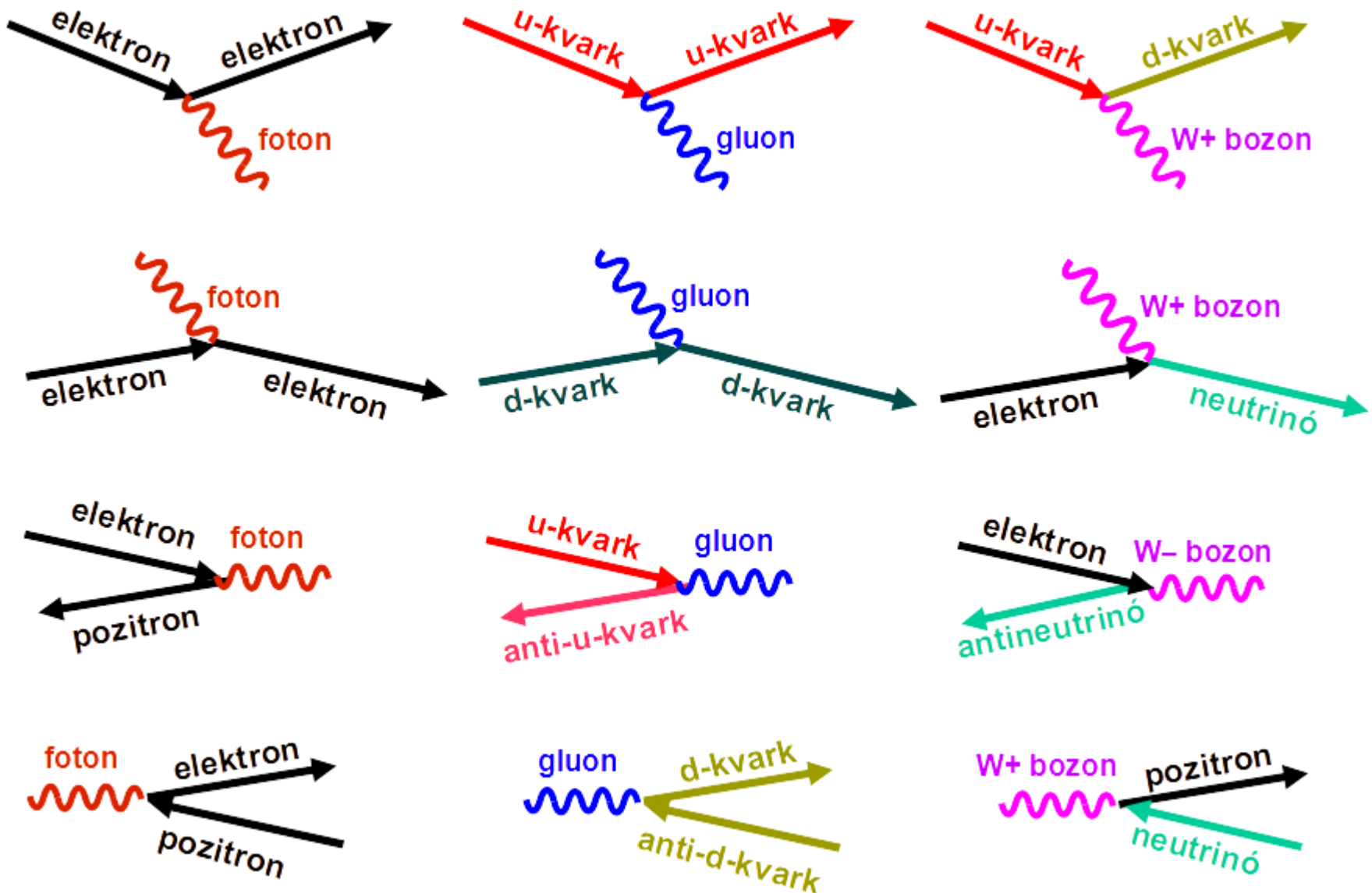
„annihiláció”



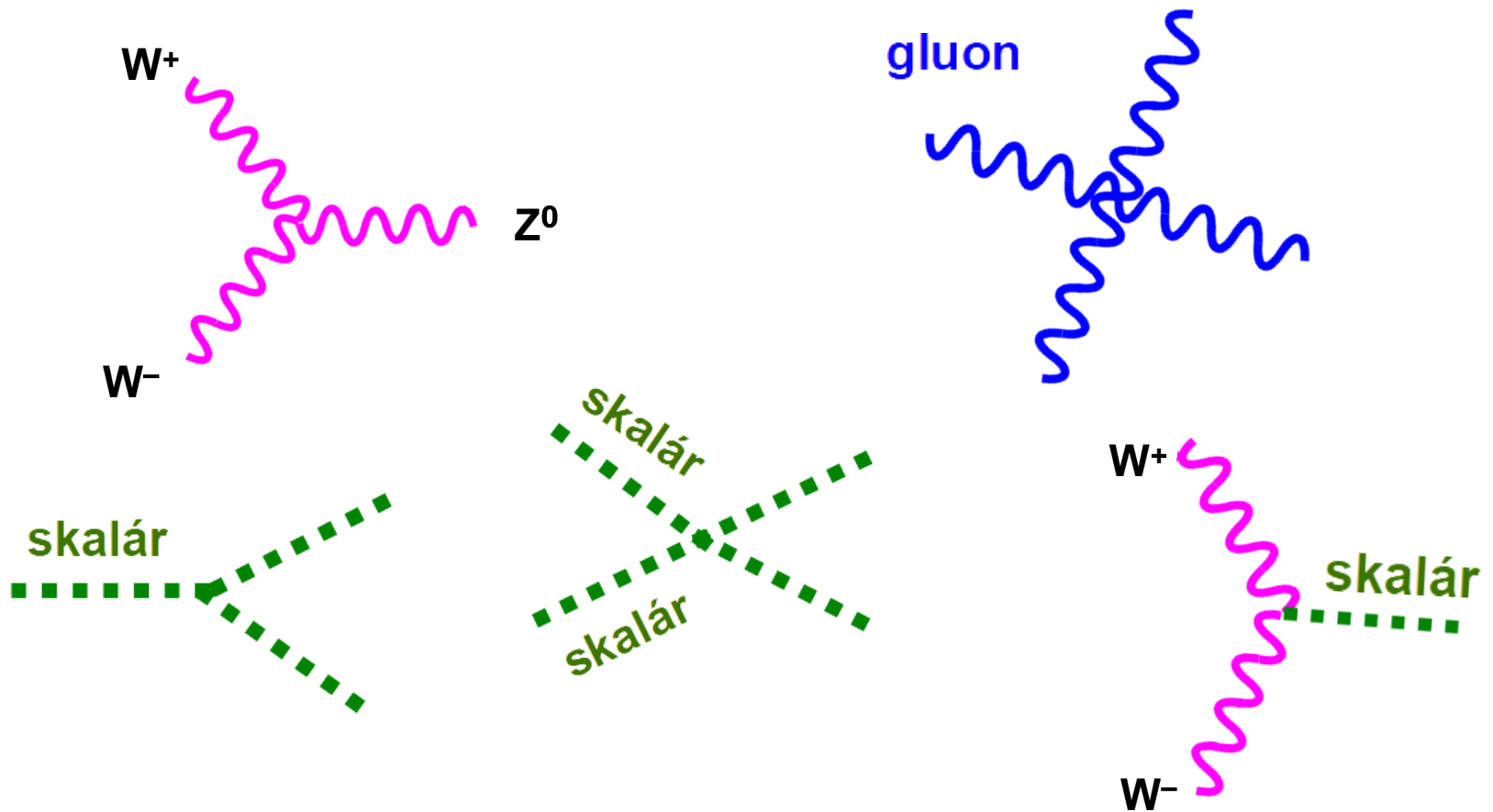
párkeltés



Analóg folyamatok más fotonszerű részecskék részvételével



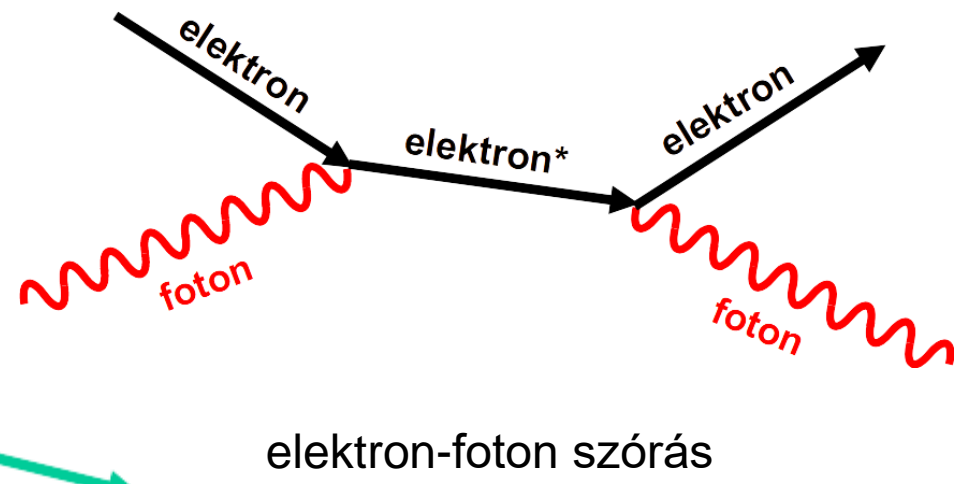
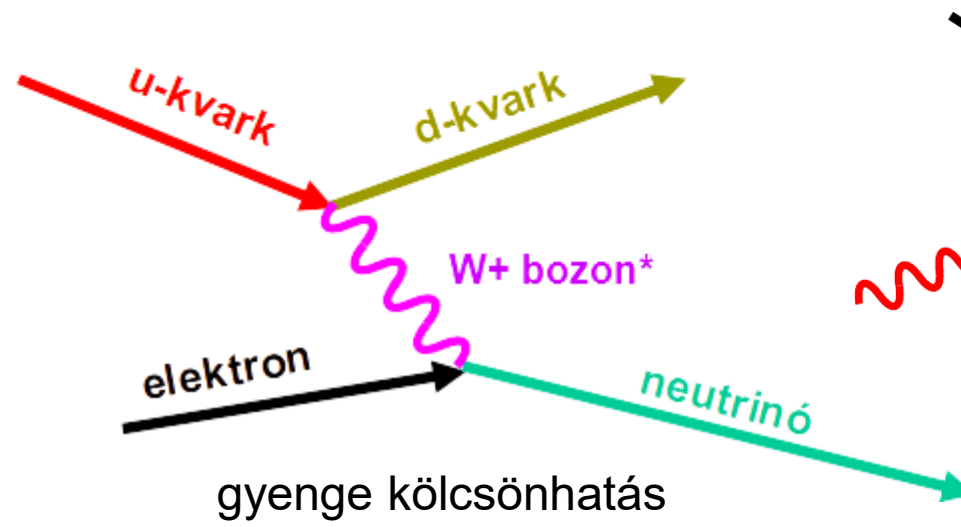
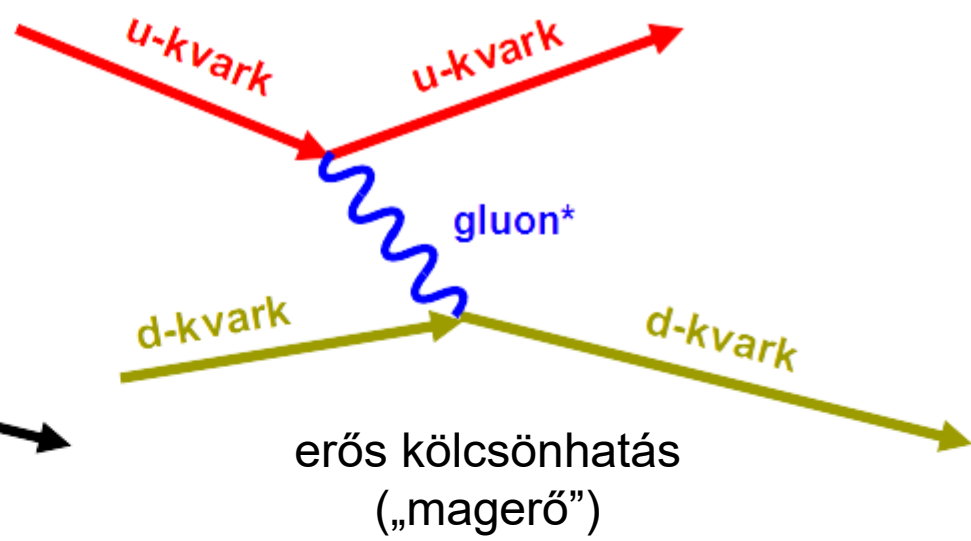
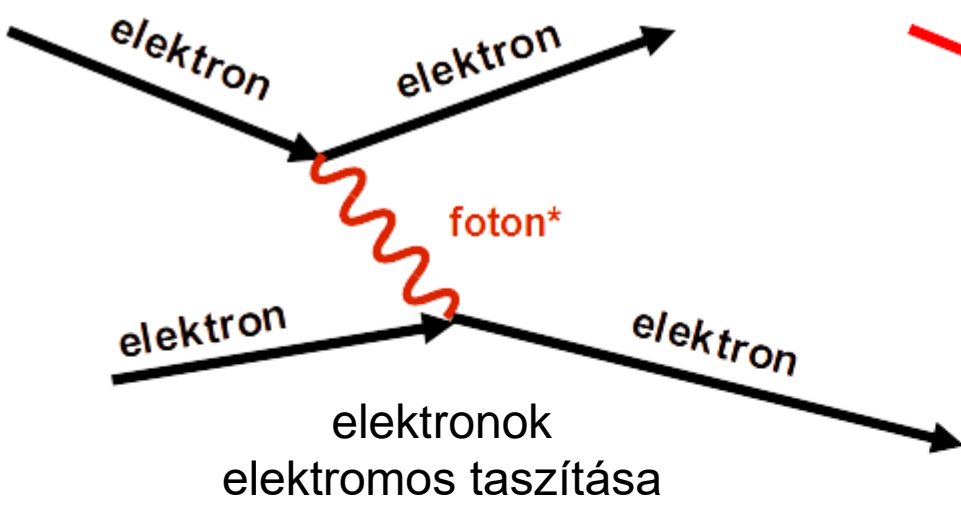
Bozonmezők kölcsönhatásai

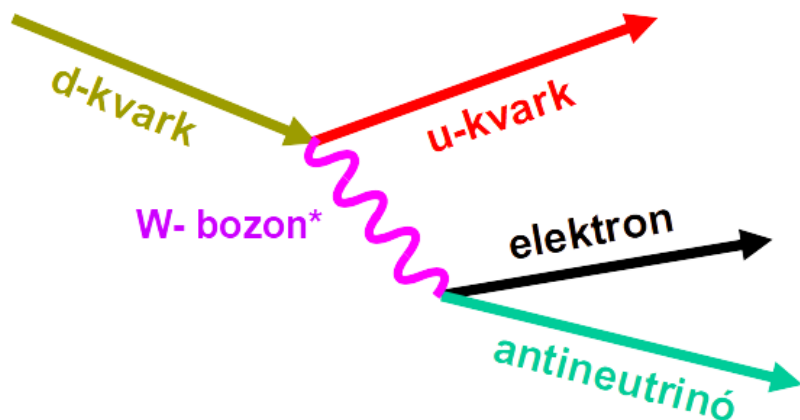


Ezek a folyamatok igen fontos szerepet játszanak az Univerzum történetében.

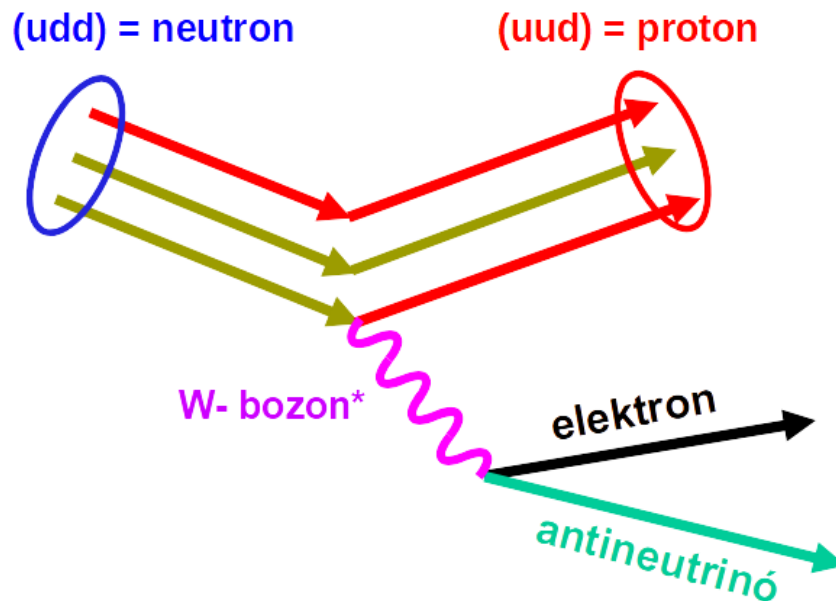
Összetett részecskefizikai folyamatok

→ IDŐ



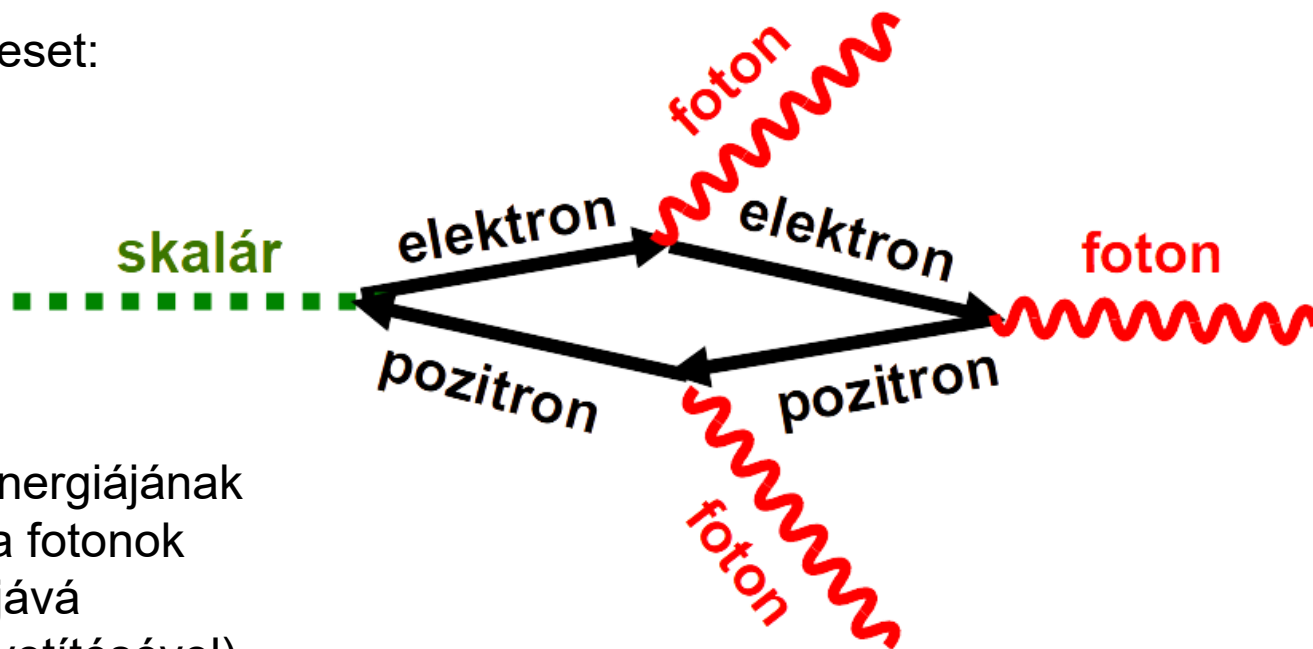


a béta-bomlás
alapfolyamata



kvarkokból összetett
objektum (neutron)
béta-bomlása

egy speciális eset:



a skalármező energiájának
átalakulása a fotonok
energiájává
(fermionok közvetítésével)

Hoppá!

Ez az ábra tulajdonképpen az Univerzum vázlatos története!

További részletek a részecskefizikáról az Atomcsill huszadik évadában:

Katz Sándor:
Az elemi részecskék fizikája
Atomcsill, 2025.04.03

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

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

Korábbi kapcsolódó Atomcsill-előadások:

Nógrádi Dániel: **Elemi részecskék**
Atomcsill, 2016.04.14

Katz Sándor: **Az anyag eredete**
Atomcsill, 2007.09.27

Nógrádi Dániel: **Túl a Standard Modellen**
Atomcsill, 2022.03.24

Lájer Márton: **Erős kölcsönhatás**
Atomcsill, 2022.12.08



A főszereplők

Nézzük meg közelebbről az Univerzum történetében
legfontosabb szerepet játszó
kvantummezőket és részecskéket!

Ezek pedig

a skalármező(k)

és

a vektormezők

közülük is a legfontosabb az elektromágneses mező kvantuma,

a foton

Jótanács: ne vezessen bennünket tévútra a

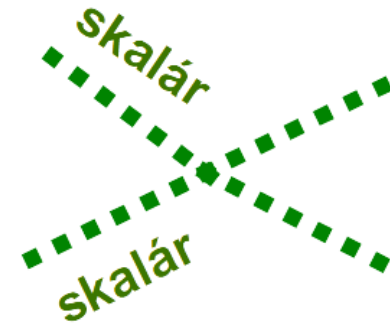
fermion-sovinizmus!



SKALÁRMEZŐ

$$\Phi(\mathbf{r}, t)$$

önkölcshatás



klasszikus hasonlat (csak hasonlat!):

a skalármező kvantumai vonzzák egymást

mint a vízgőz molekulái



lecsapódás, folyadékállapot



speciális kötött állapot, „kondenzátum”

Csordás András:
Statisztikus fizika, fázisátalakulások
Atomcsill, 2025.02.20

a fázisátalakulási folyamat a

spontán szimmetriasértés

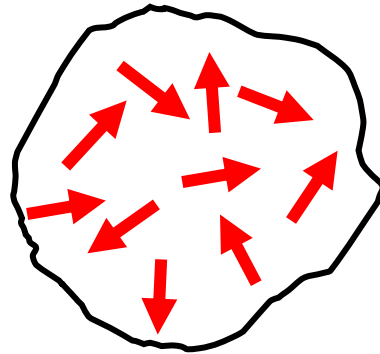


Spontán szimmetriasértés

példa: **Elemi mágnesek a vasban**
kölsönhatás, vonzóerő

nagy
hőmérsékleten

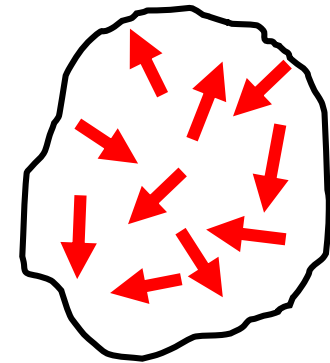
a hőmozgás
megakadályozza
a rendeződést



eredő mágnesezettség: $\mathbf{M} = \mathbf{0}$



forgatás

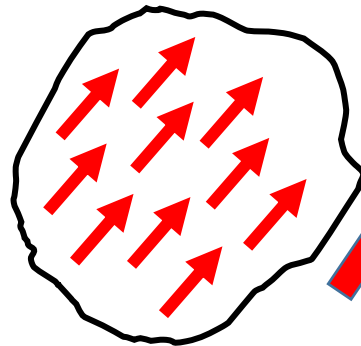


eredő mágnesezettség: $\mathbf{M} = \mathbf{0}$

a rendszer forgásszimmetrikus

alacsony
hőmérsékleten
(a Curie-pont alatt)

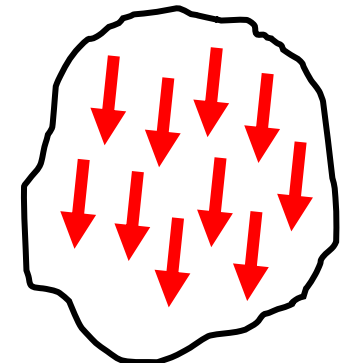
a vonzóerő kialakítja
a rendeződést



\mathbf{M}



forgatás



\mathbf{M}'

eredő mágnesezettség: $\mathbf{M} \neq \mathbf{0}$

eredő mágnesezettség: $\mathbf{M}' \neq \mathbf{0}$

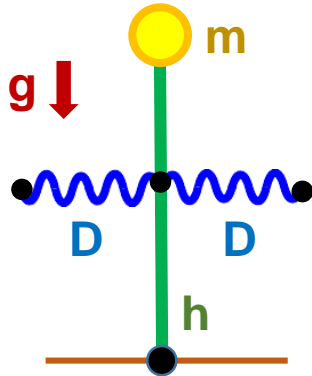
$\mathbf{M} \neq \mathbf{M}'$

a rendeződés megszünteti a forgásszimmetriát



Spontán szimmetriasértés

búzaszál modellje



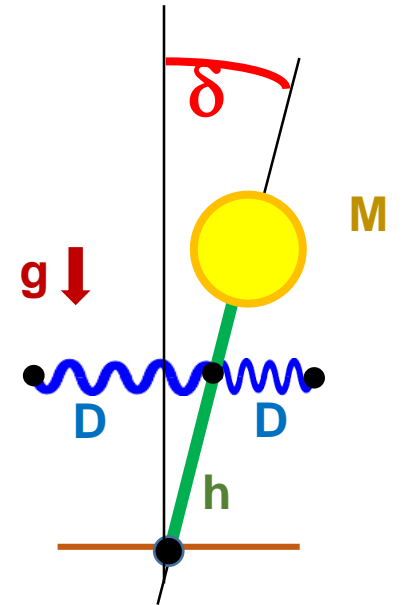
$$c < 1 \quad \delta = 0$$

kontrollparaméter:

$$c = \frac{M g}{D h}$$

rendparaméter:

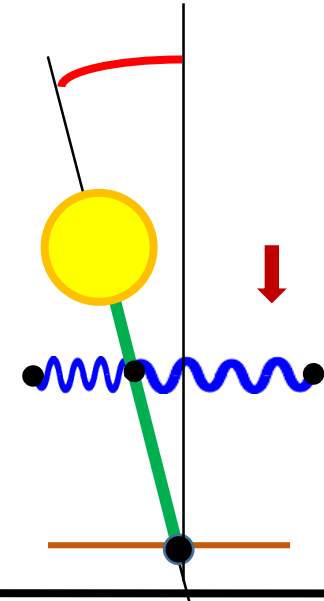
δ az egyensúlyi helyzet szöge



$$c > 1 \quad \delta \neq 0$$

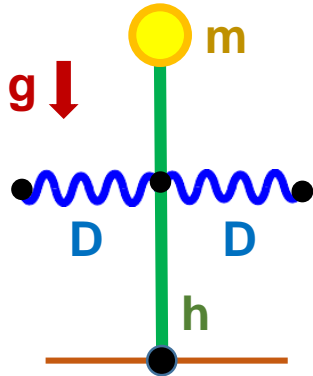
A megvalósuló alapállapotban
nem jelenik meg
a rendszer szimmetriája

Ehelyett a
szimmetriatranszformáció
egy másik, ekvivalens
alapállapotba visz.



Spontán szimmetriasértés

búzaszál modellje



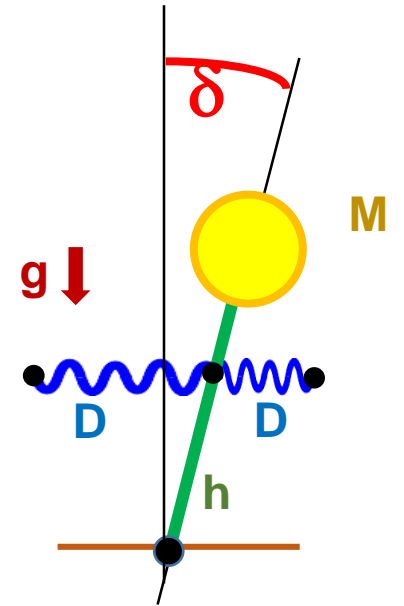
$$c < 1 \quad \delta = 0$$

kontrollparaméter:

$$c = \frac{M g}{D h}$$

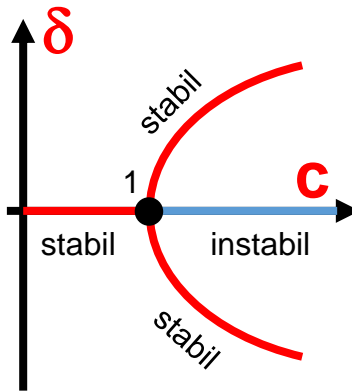
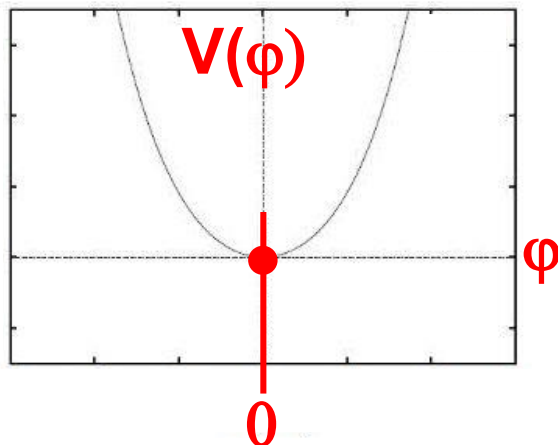
rendparaméter:

δ az egyensúlyi helyzet szöge



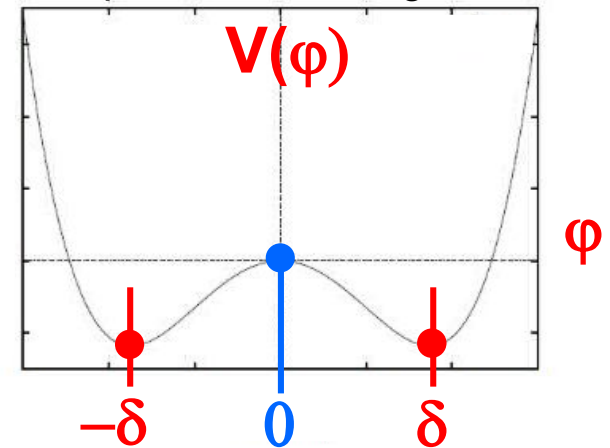
$$c > 1 \quad \delta \neq 0$$

potenciális energia



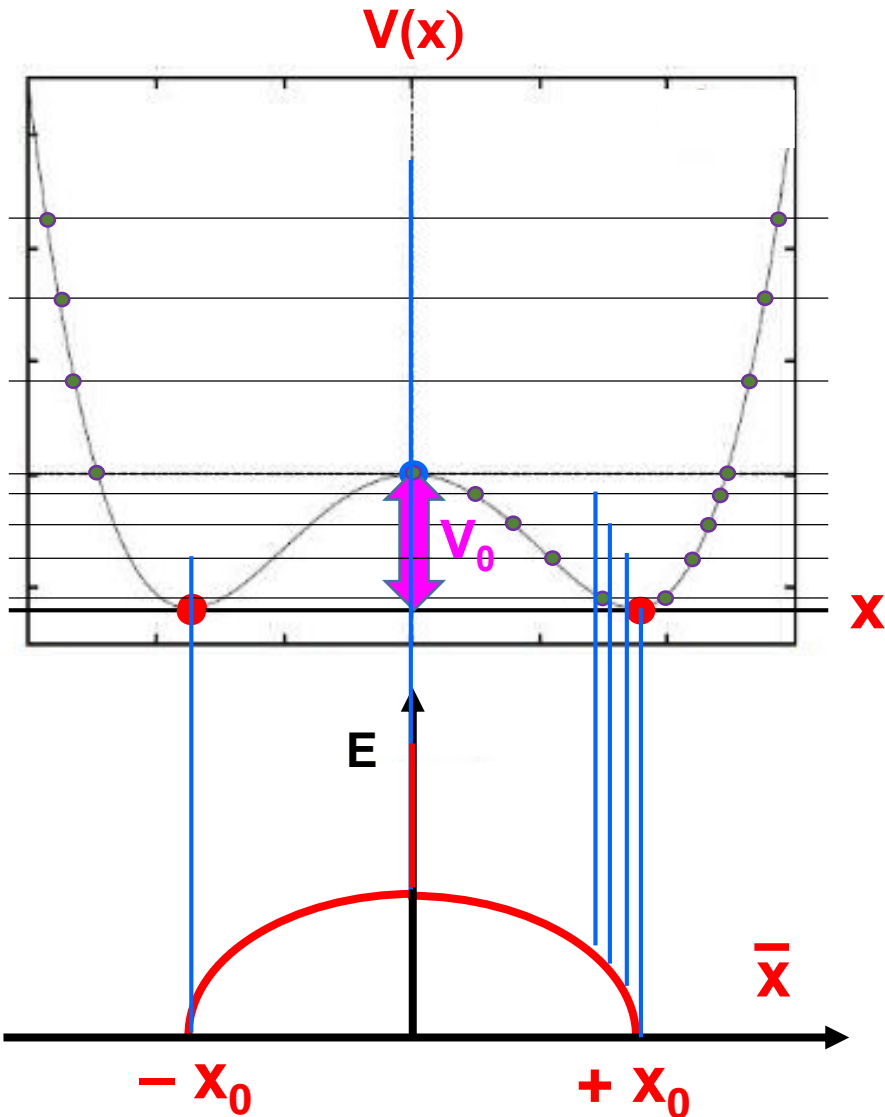
bifurkációs diagram

potenciális energia



Spontán szimmetriasértés

golyó mozgása kétfenekű potenciálgödörben



energiamegmaradás: $E = K + V(x)$

a mozgási energia pozitív: $K > 0$

megengedett mozgás $E > V(x)$

fordulópontok $x=a$ és $x=b$: $V(a) = V(b) = E$

átlagos helyzet: a és b között

amíg $E > V_0$ addig az átlagos helyzet középen van
szimmetrikus állapot

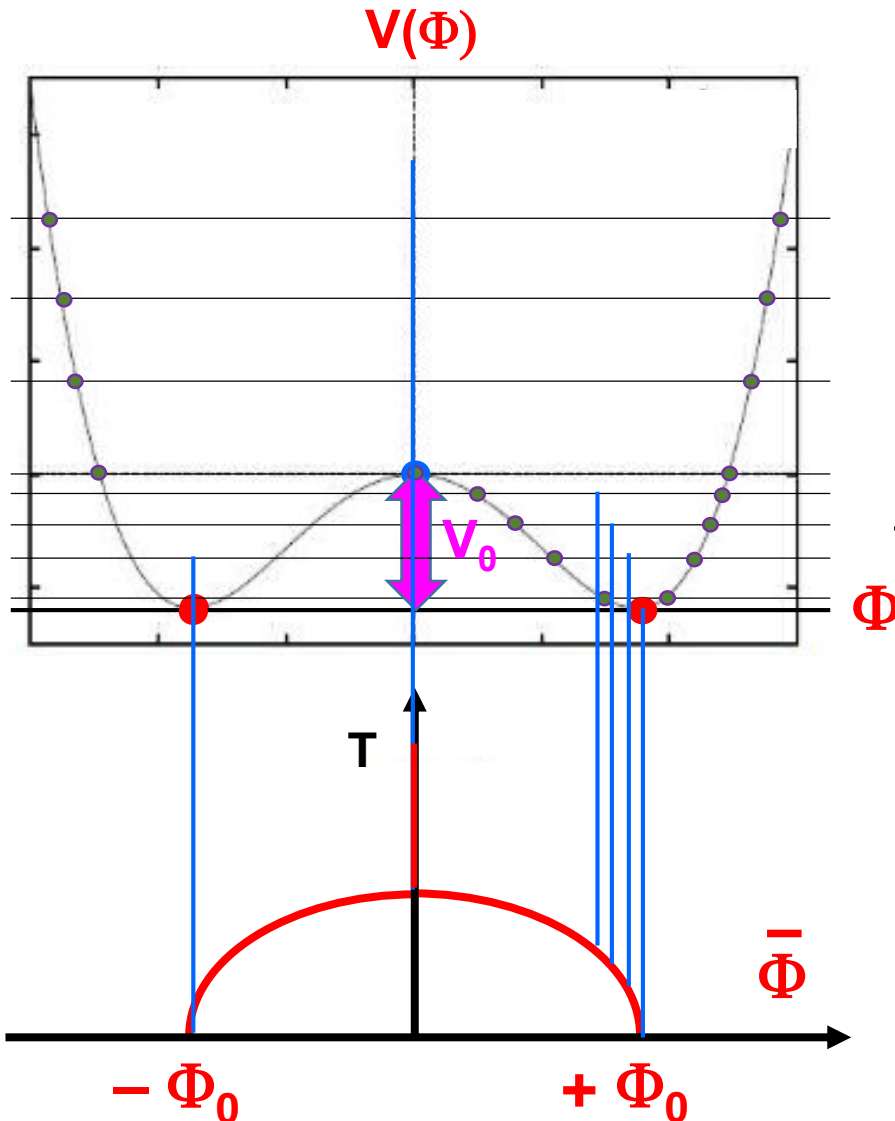
amikor $E < V_0$ akkor az átlagos helyzet behúzódik az egyik vagy másik gödörbe

amikor $E \approx 0$ akkor az átlagos helyzet az egyik vagy másik gödör fenekén van, azaz $+X_0$ vagy $-X_0$

szimmetriasértő állapot

Spontán szimmetriasértés

a skalármező önkölcsönhatását
ugyanaz a kétfenekű
potenciálgörbe írja le!



a kontrollparaméter
az Univerzum T hőmérséklete,
ami a tágulás miatt
folyamatosan csökken

amíg $kT > V_0$ addig a mező átlagértéke **0**
szimmetrikus állapot

amikor $kT < V_0$ akkor a mező átlagértéke
behúzódik az egyik
vagy másik gödörbe

amikor $kT \approx 0$ akkor a mező átlagértéke az
egyik vagy másik gödör
fenekén van,
azaz $+\Phi_0$ vagy $-\Phi_0$

szimmetriasértő állapot



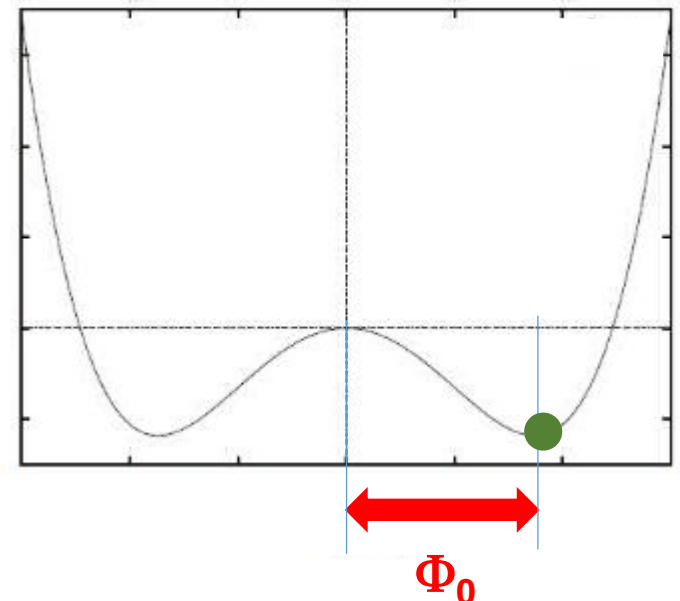
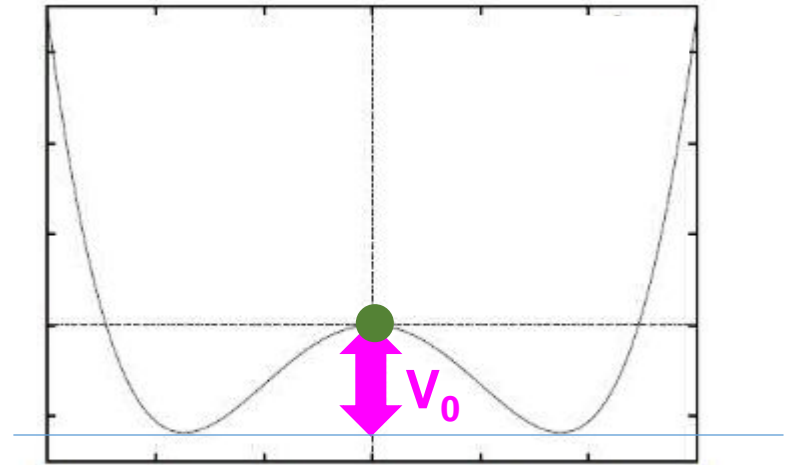
De **miért érdekes** a skalármező szimmetriasértő fázisátalakulása?

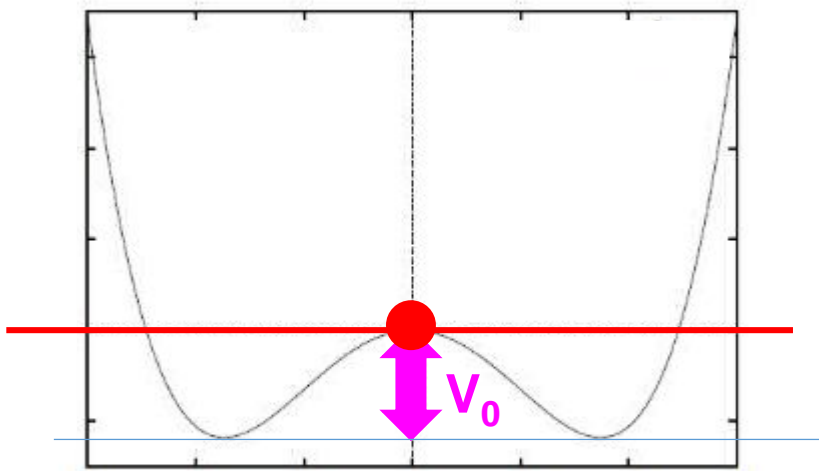
Miért nem maradhat ez a skalármező magánügye?

Mert ennek a folyamatnak két állomása is **döntő jelentőségű** a kozmológiában és a részecskefizikában!

Amikor $kT = V_0$, azaz a mező a potenciálcsúcson jár – akkor **kezdődik a kozmikus infláció**.

Amikor pedig a skalármező felveszi a $\Phi = \Phi_0$ szimmetriasértő értéket, ezzel **tömeget generál** a vele kölcsönható részecskéknek.





A „töprengés” alatt a skalármező térben és időben állandó.

energiasűrűsége: $\varepsilon = V_0$

nyomása: $p = -V_0$

azaz állapotegyenlete $p = -\varepsilon$

Ez (a „töprengő” skalármező) **az a speciális anyagfajta,** amely az exponenciális gyorsulású **inflációs tágulást** okozza!

Amikor a csökkenő hőmérséklet eléri a $kT=V_0$ értéket, a mező megáll és habozni kezd:

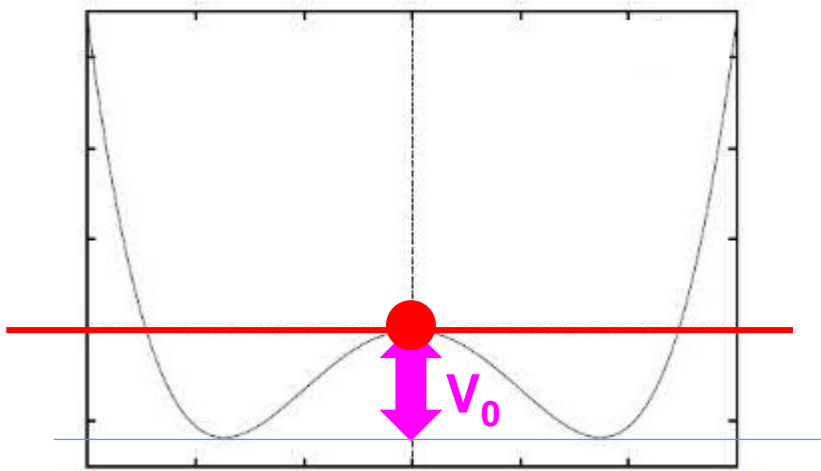
melyik gödörbe essek bele?

Buridan szamara



melyik szénacsomót válasszam?

Ez a „töprengés”, a folyamatok **kritikus lassulása** általában jellemző a másodrendű fázisátalakulásokra



A „töprengés” alatt a skalármező térben és időben állandó.

energiasűrűsége: $\varepsilon = V_0$

nyomása: $p = -V_0$

azaz állapotegyenlete $p = -\varepsilon$

Ez (a „töprengő” skalármező) az a speciális anyagfajta, amely az exponenciális gyorsulású **inflációs tágulást** okozza!

Az **infláció** sok mindent megmagyarázó, de korábban határozatlan eseménye most már **pontosan elhelyezhető** az Univerzum történetében:

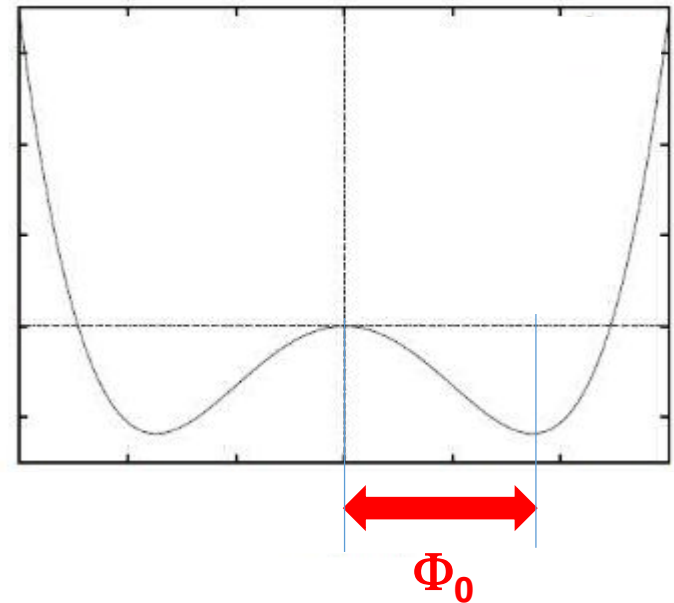
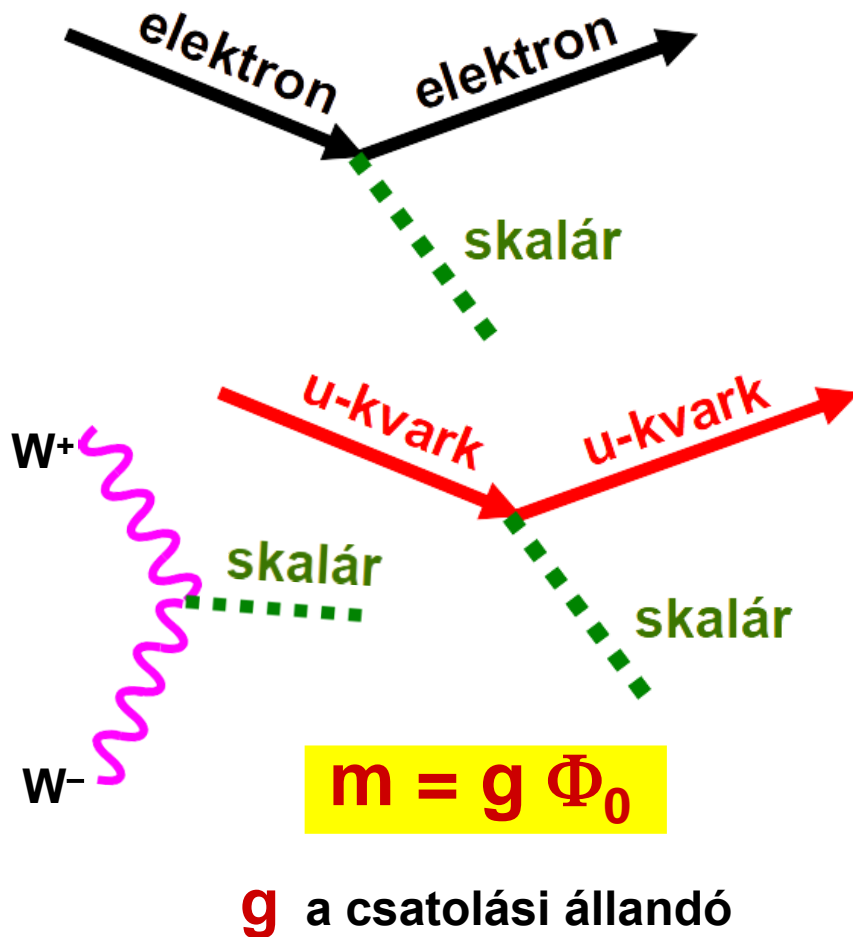
Akkor kezdődik, amikor a csökkenő hőmérséklet eléri a $kT=V_0$ értéket.

És addig tart, amíg a töprengés véget nem ér, azaz a skalármező bele nem csusszan valamelyik gödörbe.

Ezek a paraméterek a részecskefizikai adatok alapján kiszámíthatók!

Infláció:
kb. 10^{-36} és 10^{-32} s között

Amikor a skalármező felveszi a $\Phi = \Phi_0$ szimmetriasértő értéket, ezzel **tömeget generál** a vele kölcsönható részecskéknek.



A szimmetriasértő skalármező **tömeget generál** a **fermionoknak** (az összesnek), valamint a **W és Z bozonoknak**.

Tömeg nélkül marad a bozonok közül a **foton és a gluonok**.

Örülünk ennek?

Nem feltétlenül: a tömeg olykor bajjal jár...

no de tulajdonképpen

Mi az a tömeg?

Iskolás definíciók: az anyagmennyiség mértéke
a tehetetlenség mértéke

Relativitáselmélet: a tömeg a nyugvó test energiája

részletesen:

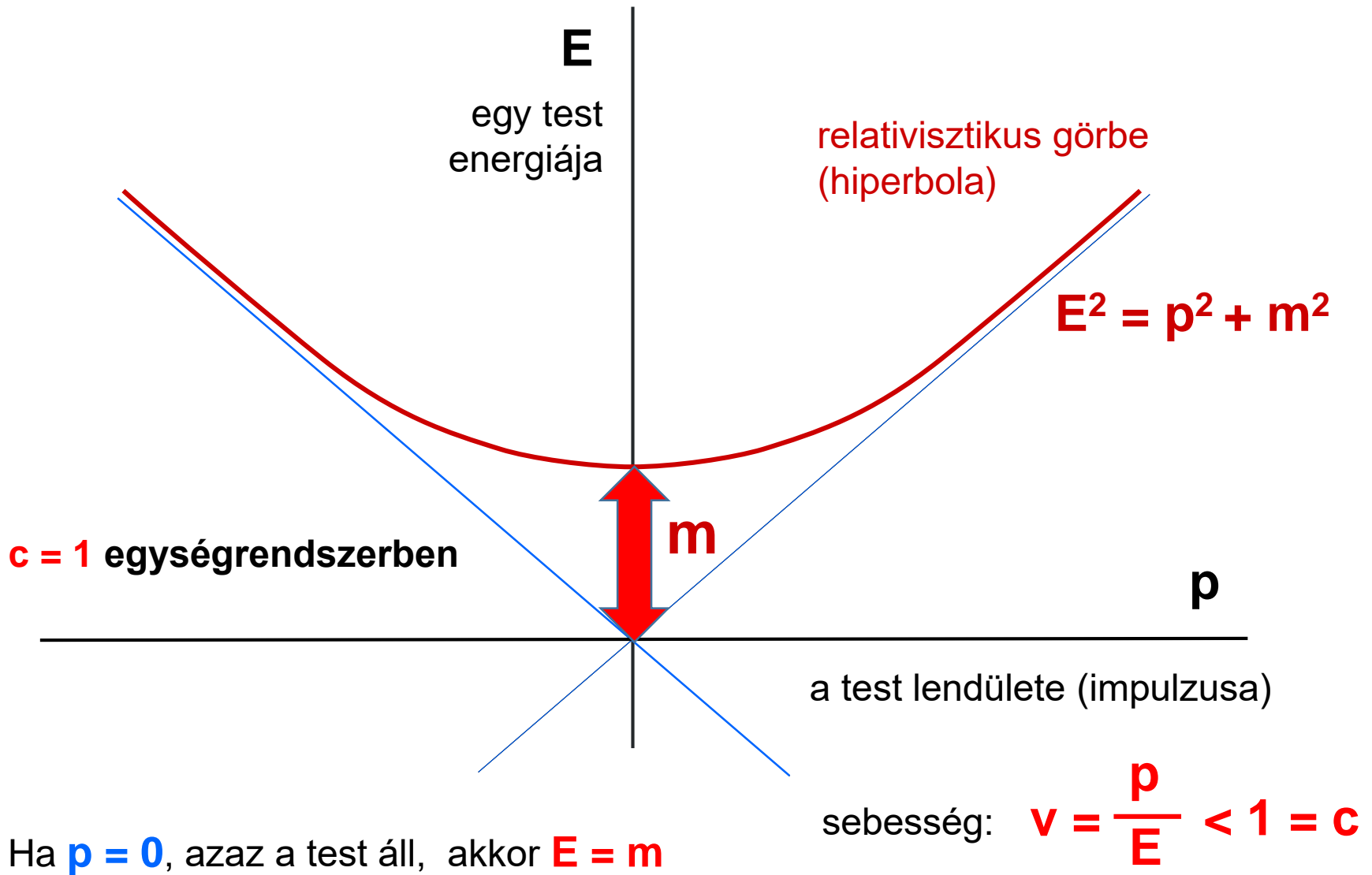
dgy: **A tömeg eredete és a Higgs-mező**
Atomcsill, 2012.09.13

ugyanott a $m = g \Phi_0$
képlet magyarázata is

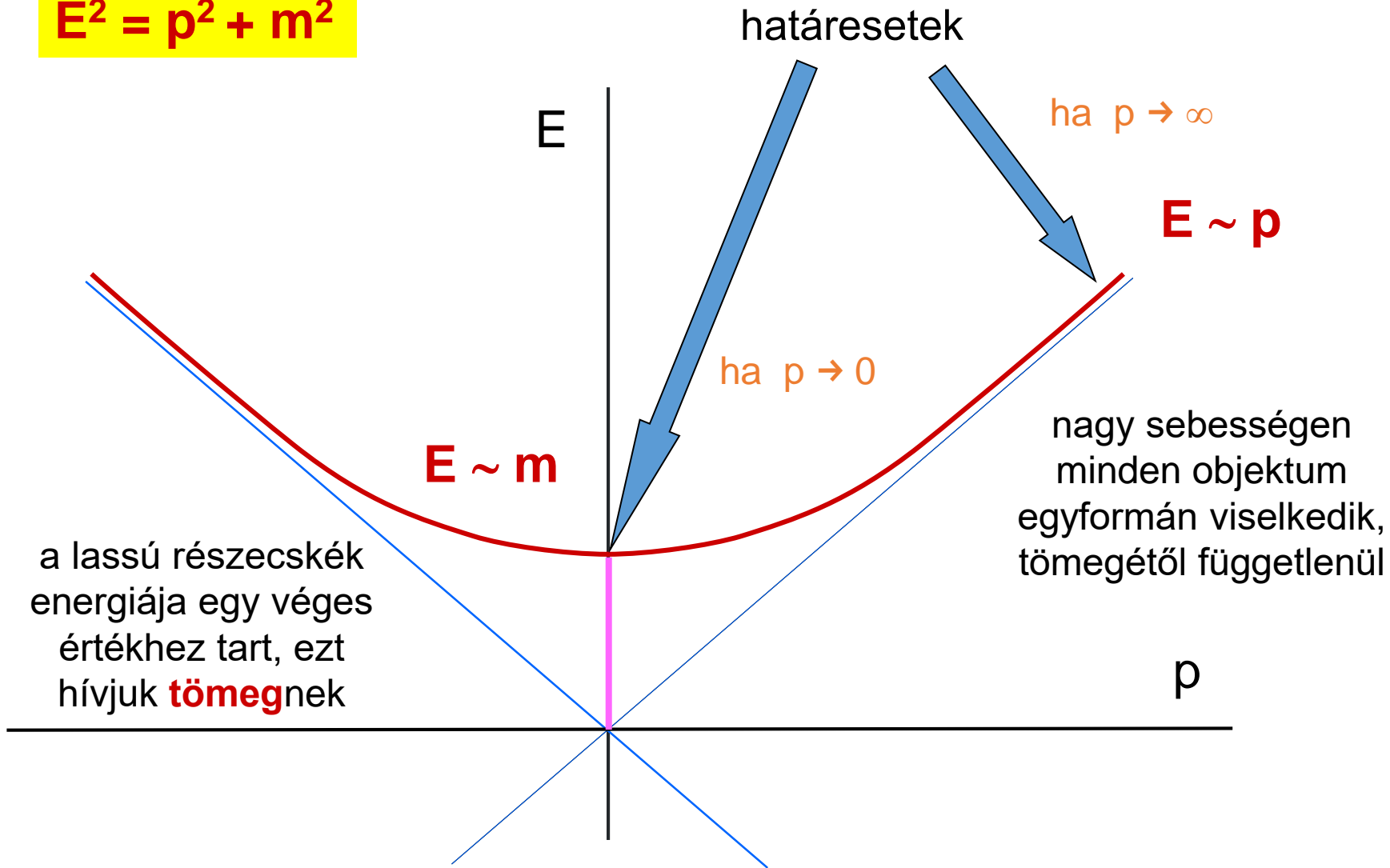
A szimmetriasértő skalármező
tömeget generál
a **fermionoknak** (az összesnek),
valamint a **W és Z bozonoknak**.

Tömeg nélkül marad
a bozonok közül
a **foton és a gluonok**.



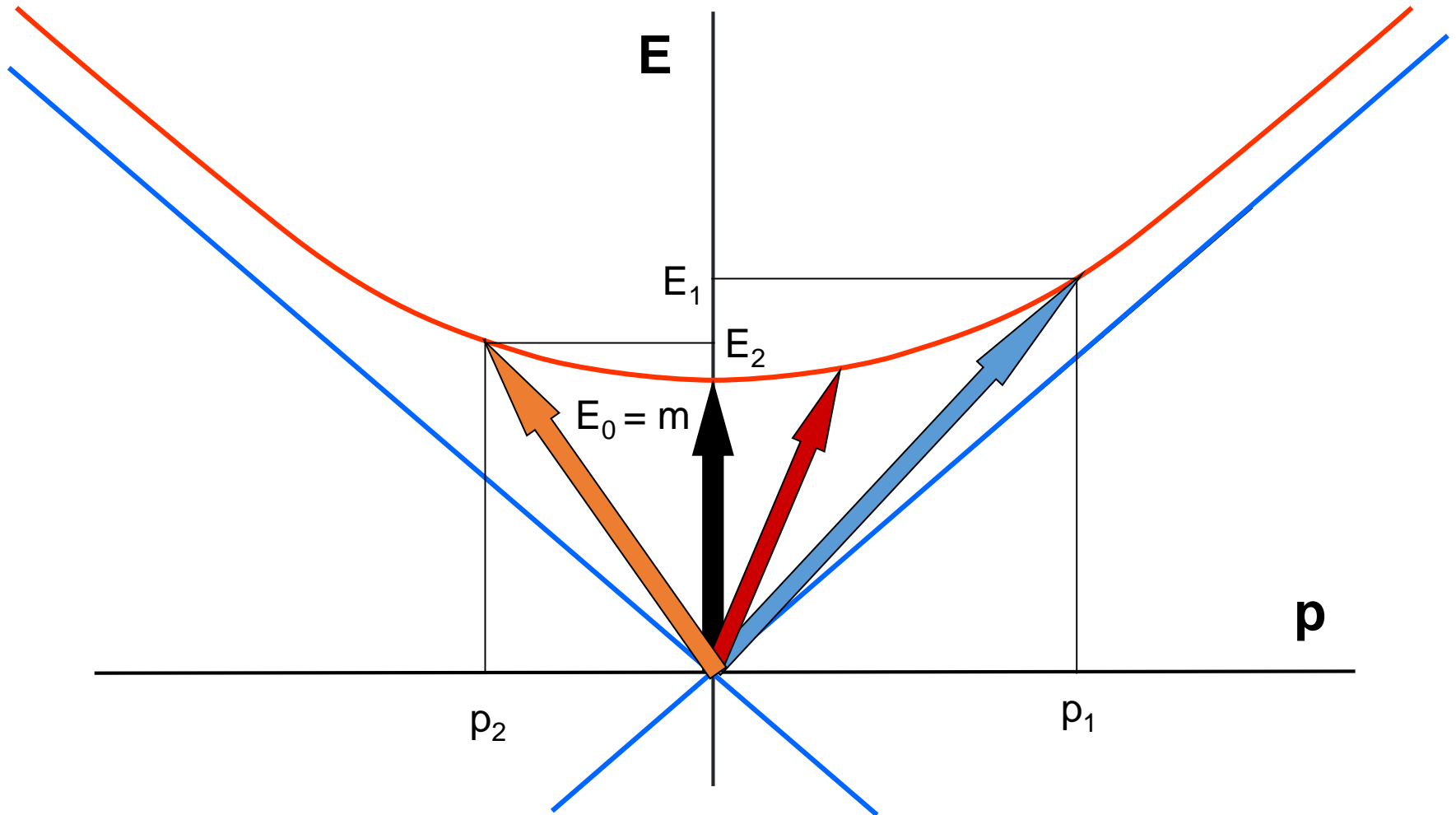


$$E^2 = p^2 + m^2$$



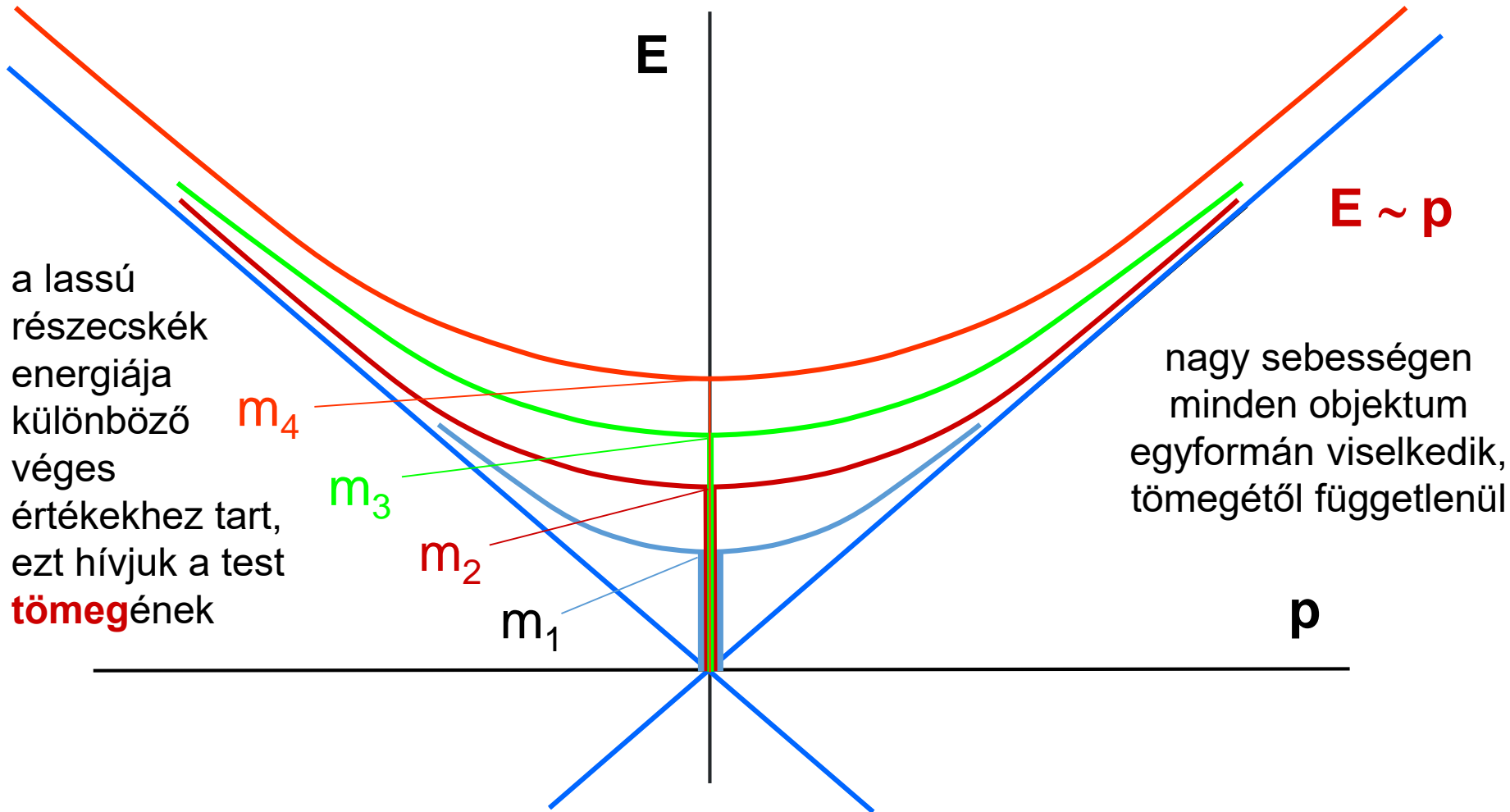
Hogyan látják ugyanazt a testet a különböző inerciális megfigyelők?

$$E^2 = p^2 + m^2$$



különböző tömegű részecskék

$$E^2 = p^2 + m^2$$



a lassú részecskék energiája különböző véges értékekhez tart, ezt hívjuk a test **tömegének**

nagy sebességen minden objektum egyformán viselkedik, tömegétől függetlenül



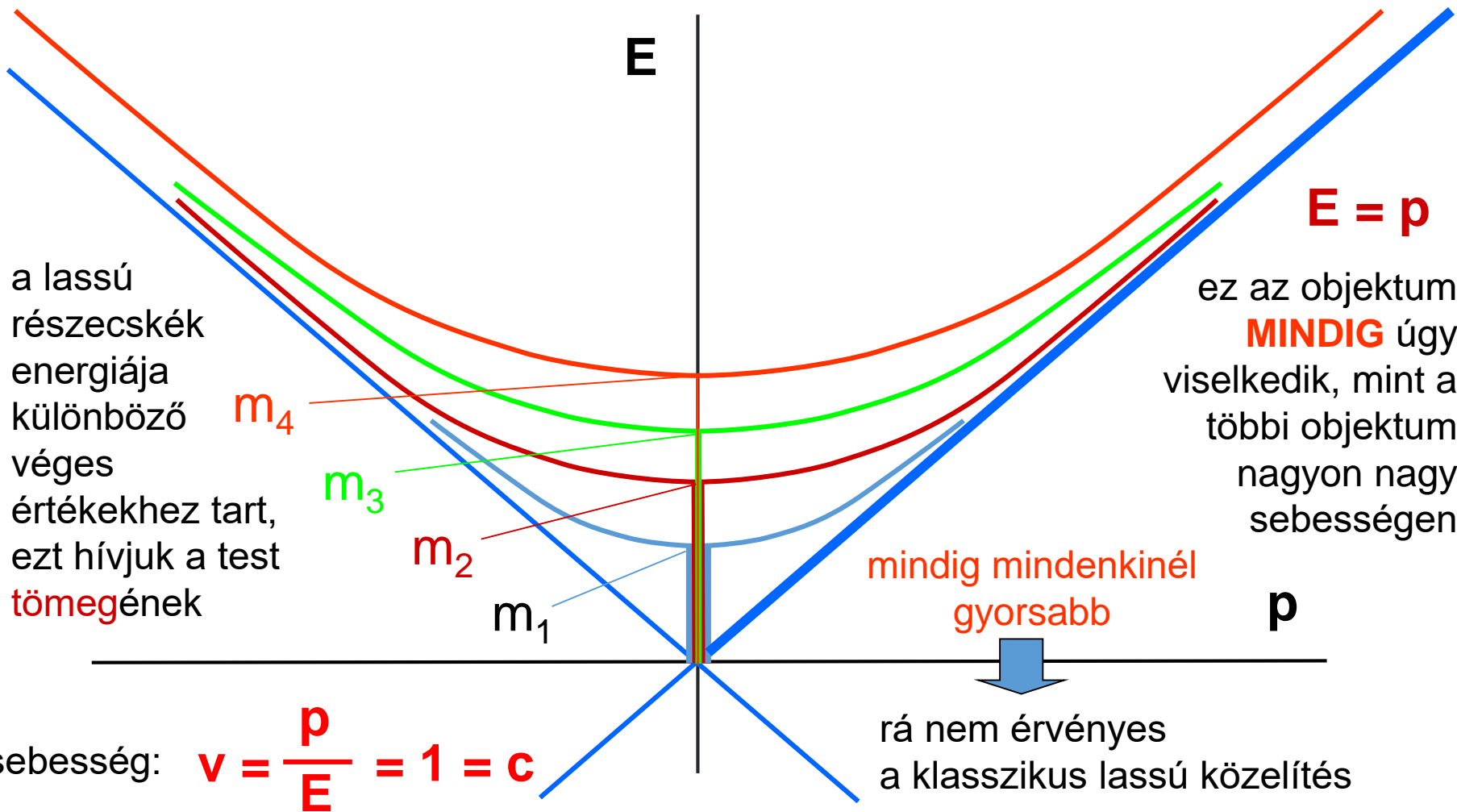
nulla tömegű részecskék

$$m = E_0 = 0$$

$$E^2 = p^2 + m^2$$



$$E = p$$



nulla tömegű részecskék

$$m = E_0 = 0$$

$$E^2 = p^2 + m^2$$

$$E = p$$

ilyen objektum a foton

tisztán relativisztikus objektum,
nincs klasszikus mechanikai megfelelője

a lassú
részecskék
energiája
különböző
véges
értékekhez tart,
ezt hívjuk a test
tömegének

ez az objektum
MINDIG úgy
viselkedik, mint a
többi objektum
nagyon nagy
sebességen

sebesség: $v = \frac{p}{E} = 1 = c$

mindig mindenkinél
gyorsabb

rá nem érvényes
a klasszikus lassú közelítés



Tömeges részecskék és az Univerzum termodinamikája

tehát

$$E^2 = p^2 + m^2$$

a tömeg a részecske energiájának
lehetséges minimuma

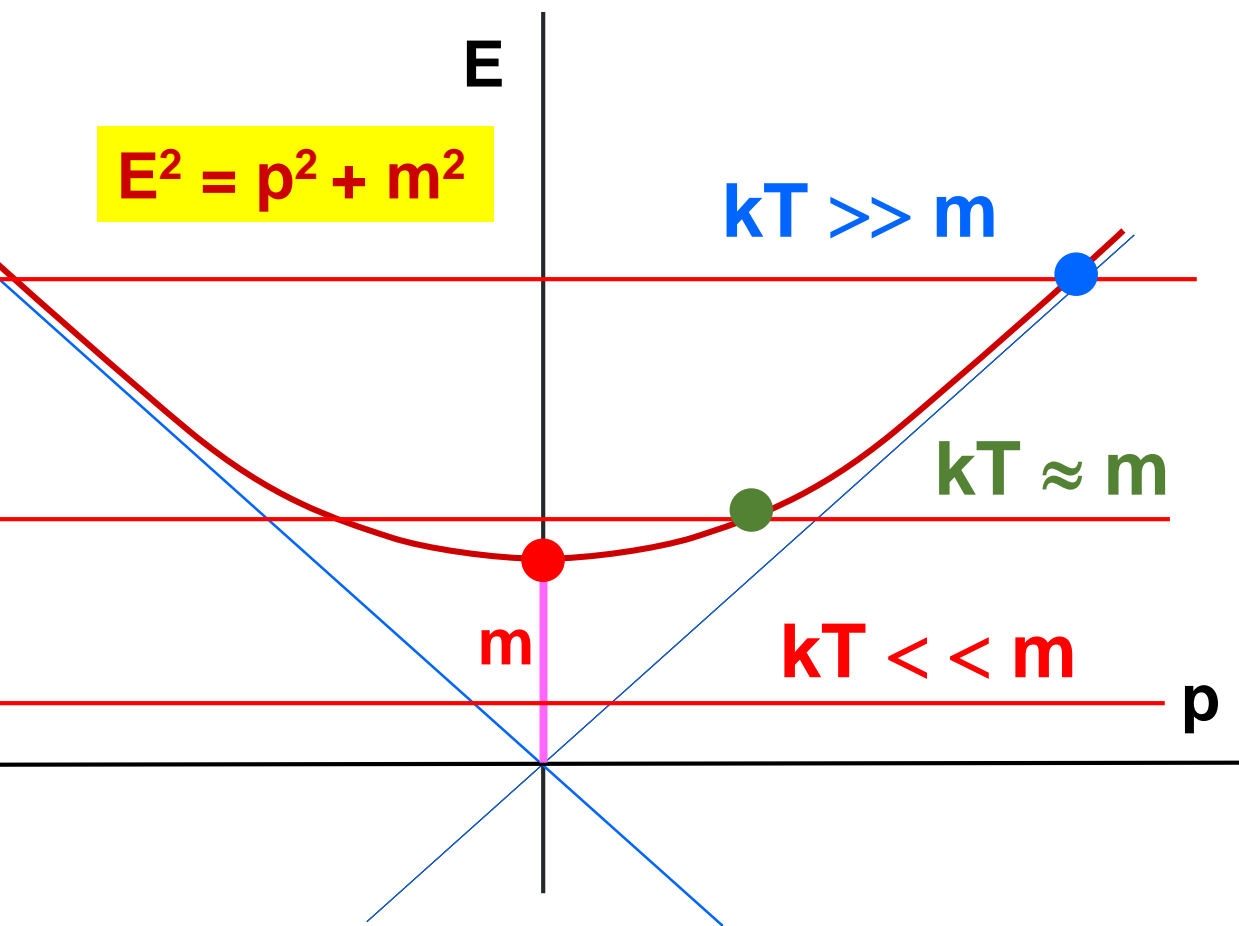
De egy kölcsönható rendszeren az
objektumok **átlagos energiáját**
a rendszer **hőmérséklete** szabja meg!

$$E \sim kT$$

Ez a két feltétel olykor
ellentmondásba
kerülhet egymással!



Tömeges részecskék és az Univerzum termodinamikája



a részecske extrém relativisztikus, olyan, mintha foton lenne:
 $E \sim p$

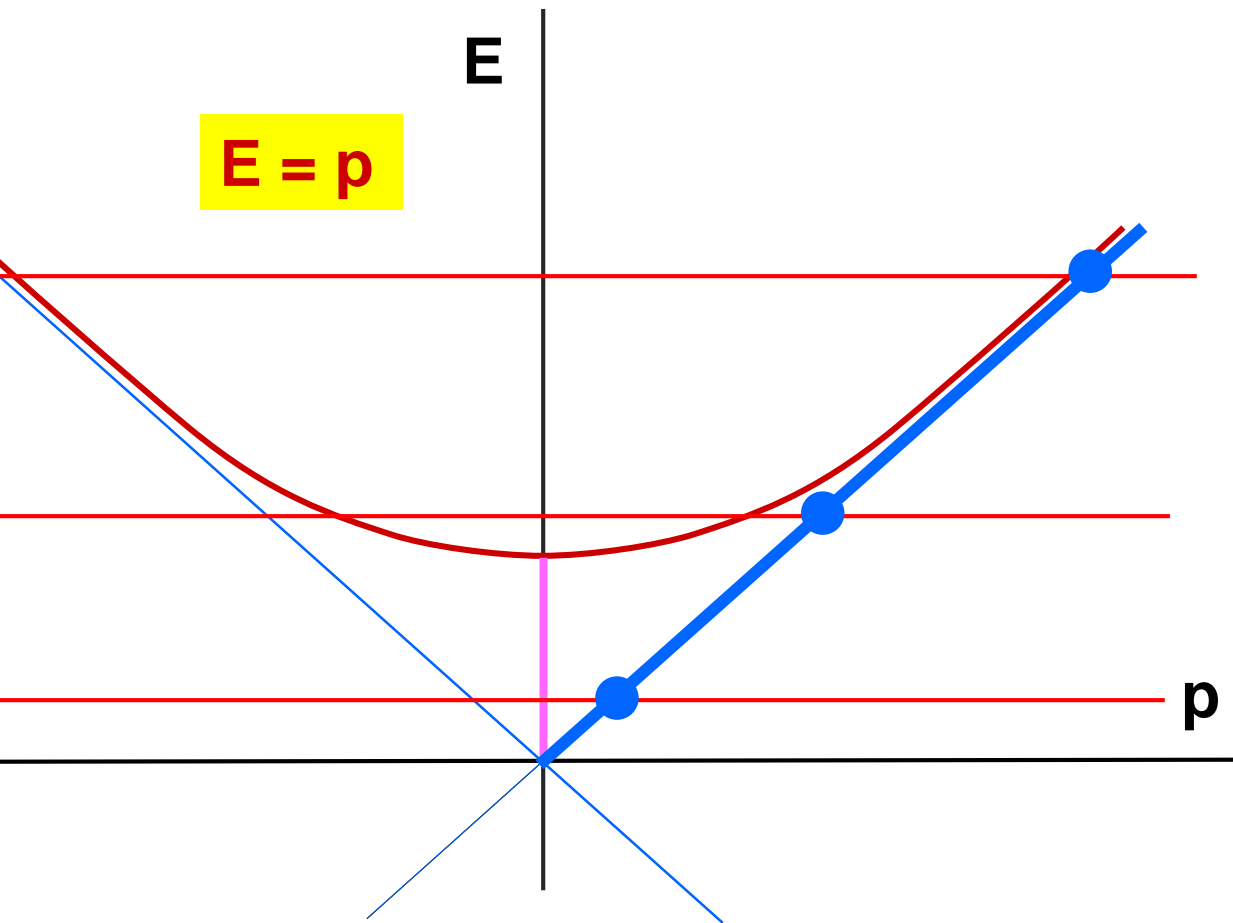
a részecske viselkedése jelentősen eltér a relativisztikustól

a részecske túl sok energiával rendelkezik, a termodinamika szerint nem szabadna léteznie!

Ahogy a tágulás során az Univerzum hőmérséklete csökken, a tömeges részecskék **metastabil állapotba** kerülnek



Tömeg nélküli részecskék és az Univerzum termodinamikája



$E = p$

a fotonok energiája tetszőlegesen hőmérsékleten tudja követni a termodinamika kényszerét

ezért a nulla tömegű részecskék az Univerzum bármelyik korszakában létezhetnek!



VEKTORMEZŐK

kvantumaik szinonímái:

Alapelméletük a **kvantum-elektrodinamika (QED)** mintájára készült.

Az elmélet szimmetriája megköveteli, hogy a vektormezők kvantumainak tömege nulla legyen.

Jelenlegi ismereteink szerint **12 fajtájuk** létezik.

Magas hőmérsékleten (az Univerzum korai időszakában) mindegyik egyformán viselkedik.

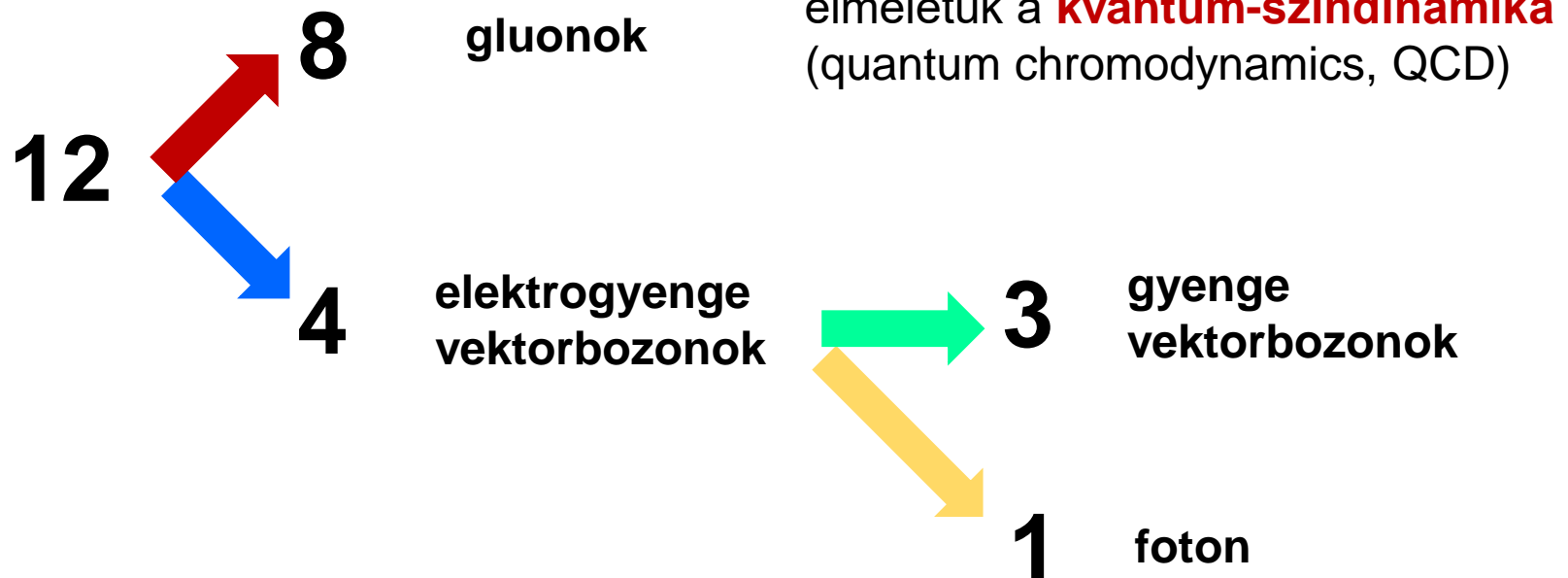
A hőmérséklet csökkenésével az egymással és más mezőkkel való kölcsönhatás **szimmetriasértésekhez** vezet, és a vektorbozonok különböző fajtái másképp viselkednek.

Alacsony hőmérsékleten a szimmetriasértő skalármezővel való kölcsönhatás némelyik vektorbozonnak **tömeget** generálhat.

vektorbozonok
mértékbozonok
fotonszerű részecskék
közvetítő bozonok

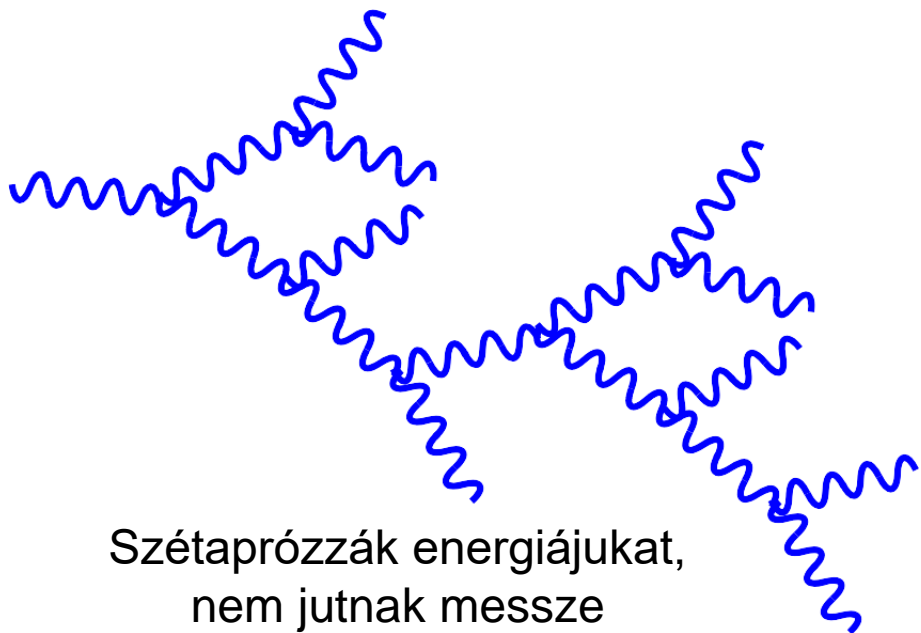
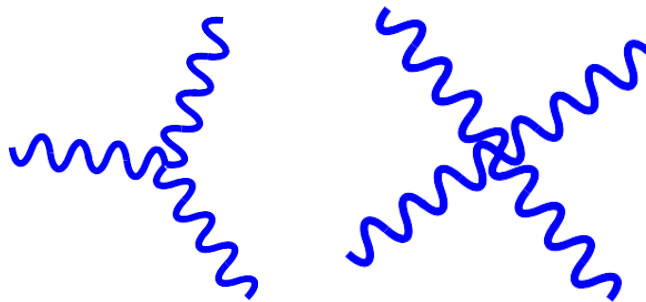


A hőmérséklet csökkenésével az egymással és más mezőkkel való kölcsönhatás **szimmetriasértésekhez** vezet, és a vektorbozonok különböző fajtái másképp viselkednek.



Gluonok

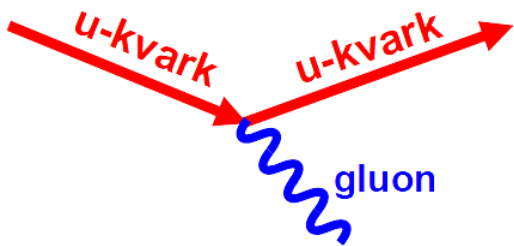
Erősen kölcsönhatnak egymással



Szétaprózzák energiájukat,
nem jutnak messze



mint egy sivatagi folyó



Ezért a hozzájuk csatolódo
fermionok (a kvarkok) sem
távolodhatnak el túl messzire
egymástól:

ez a **kvarkbezárás**
(quark confinement)



Gyenge bozonok

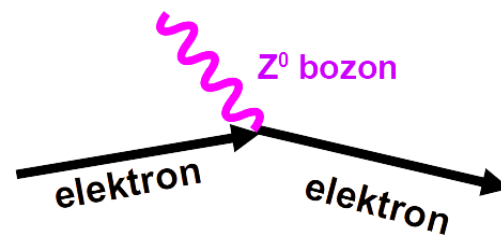
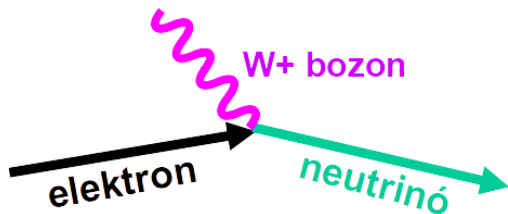
kölcsönhatnak a skalármezővel, így nagy tömegre tesznek szert

az elektron tömegének 160–180 ezerszeresére!

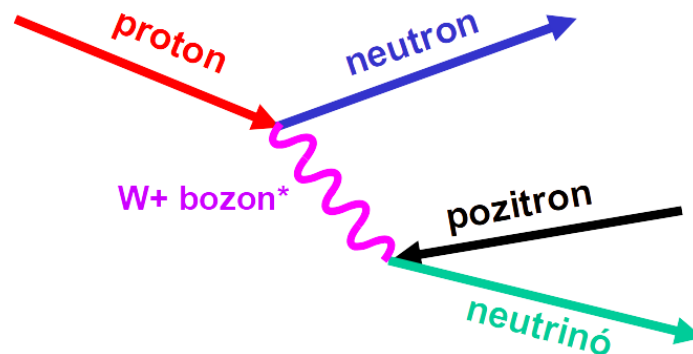


Emiatt az Univerzum történetének első töredékmásodpercei után már csak nagyon kis valószínűséggel jöhetnek létre.

Akkor sem jutnak messzire, nagyon gyorsan elbomlanak.



Ezért hívják az általuk közvetített ritkán előforduló, rövid hatótávolságú folyamatokat **gyenge kölcsönhatásnak**.



Foton

Ez az **egyetlen vektorbozon**, amely

nem hat kölcsön a skalármezővel,

csak a ritkán előforduló (töltött) fermionokkal,

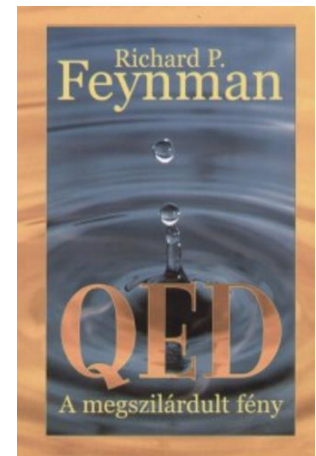
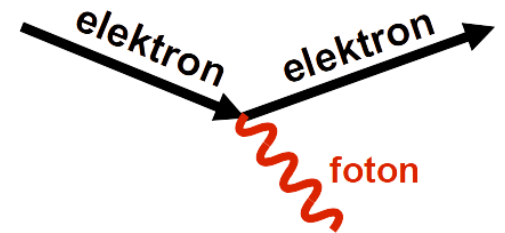
ezért nulla tömegű marad, és energiaveszteség nélkül messzire eljuthat.

a foton tud információt hozni az Univerzum távoli részéről

és még ki???

A foton az egyetlen részecske, amely **kozmológiai távolságokon és időtartamokban is** jelentős szerepet játszhat.

A foton az Univerzum történetének igazi túlélője.



„Futottak még” kategória

Fermionok

számos speciális tulajdonság:

a fermionok darabszámára
megmaradási tételek
állnak fenn

ezért csak
részecske–antirészecske
párban keletkezhetnek

feles spinjük van,
a **Dirac-egyenlet** írja le őket

ezért érvényes rájuk a
Pauli-féle **kizárási elv**

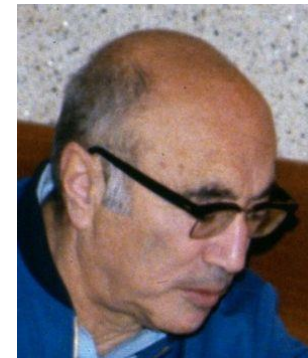
bezzeg a bozonok...



Wigner Jenő
1902–1995
Nobel-díj 1972



Marx György
1927–2002



Jakov Zeldovics
1914–1987



Paul Dirac
1902 – 1984
Nobel-díj 1933



Wolfgang Pauli
1900 – 1958
Nobel-díj 1945



„Futottak még” kategória

Fermionok

számos speciális tulajdonság:

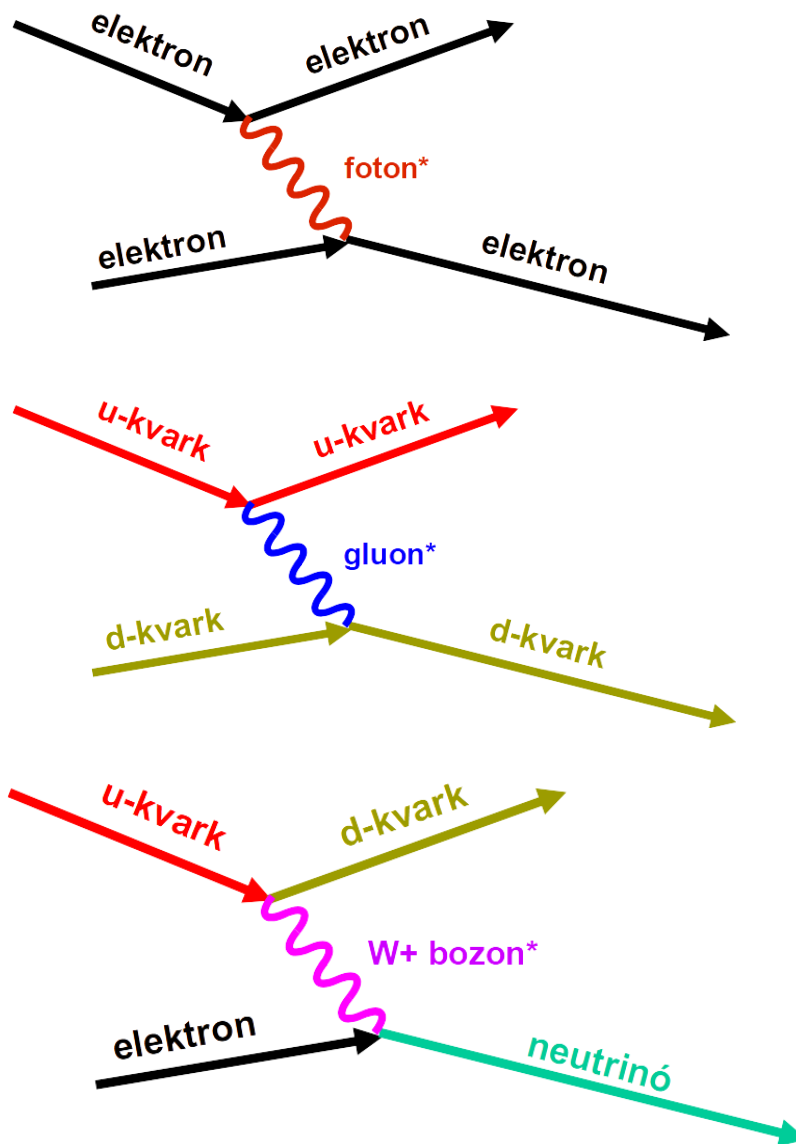
közvetlenül nem hatnak
kölsön egymással

csak bozonok közvetítésével

W-vel és Z-vel:
mindegyik fermion

gluonokkal:
csak a kvarkok

fotonnal:
csak a töltött fermionok
(a neutrínók nem)



„Futottak még” kategória

Fermionok

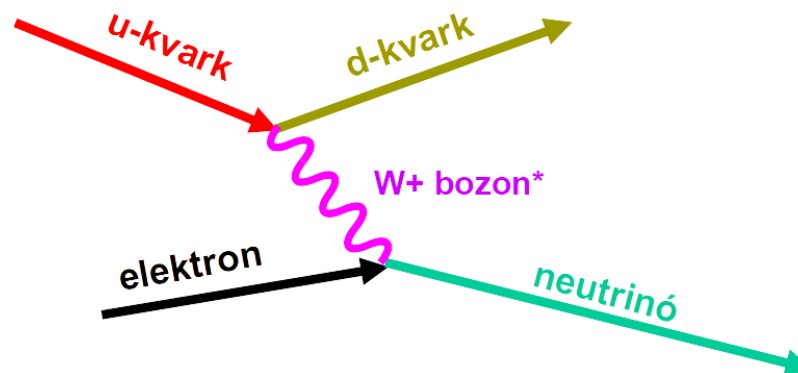
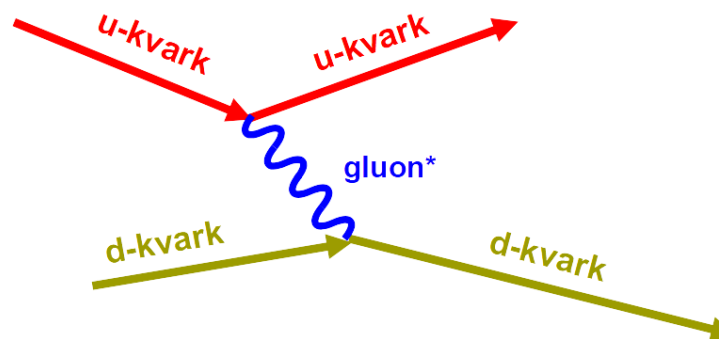
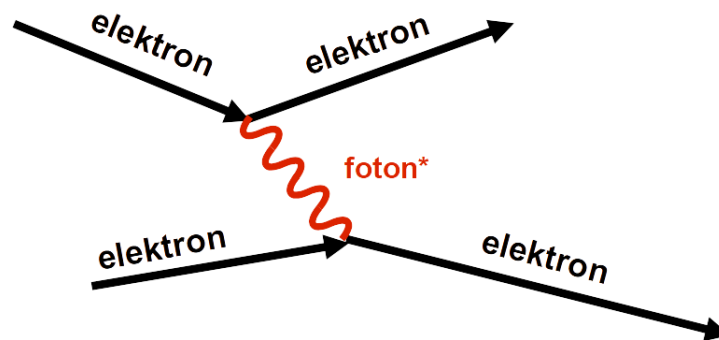
számos speciális tulajdonság:

közvetlenül nem hatnak
kölsön egymással

csak bozonok közvetítésével

mindegyik fermionnak
tömege van

**ezért a fermionok
csak ideiglenes szereplői
az Univerzum történetének!**



Áttekintettük a jelenleg ismert anyagmezőket

a „sötét anyaggal”
nem foglalkoztunk

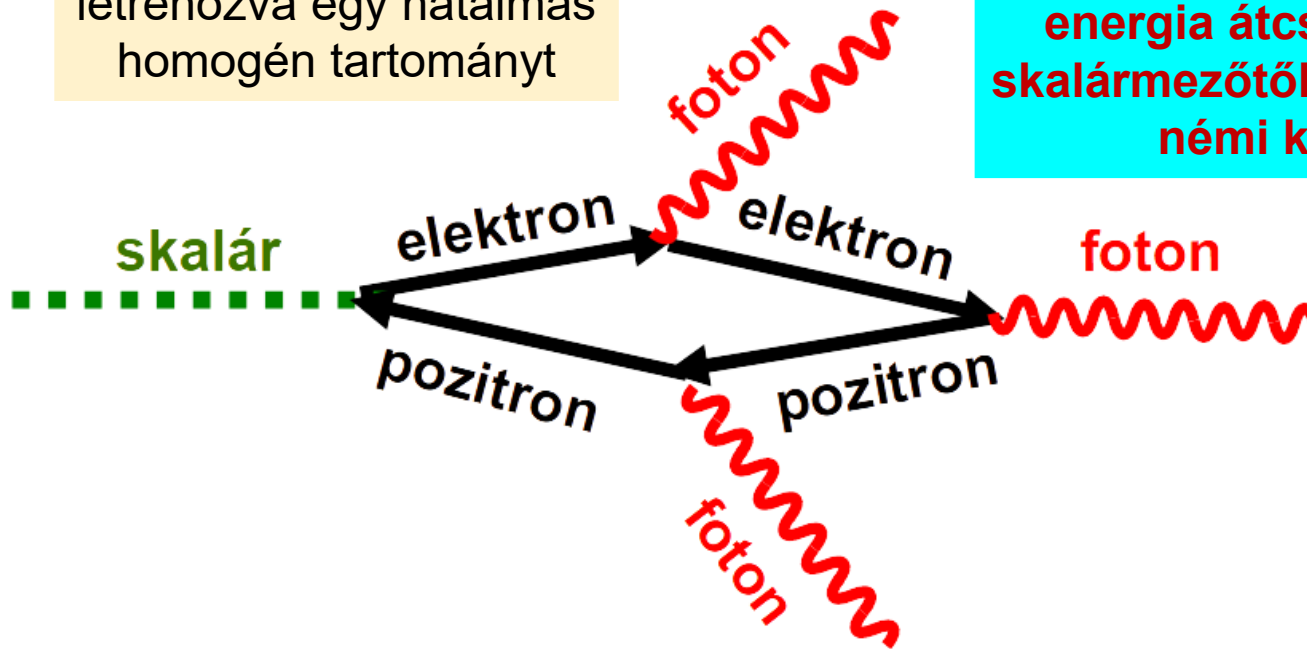
Láttuk, hogy a legtöbbjük csak ideiglenes szereplője lehet az Univerzum történetének

a legrégebbi ismert korszakot a **skalármező** dominálja

kozmológiai időtávon kizárólag a **fotonok** maradhatnak fenn

ez okozza az inflációt, létrehozva egy hatalmas homogén tartományt

az Univerzum története az energia átcsoportosítása a skalármezőtől a fotonmezőhöz, némi közjátékkal



Az Élet, a Világmindenség meg Minden

az Univerzum története
a Nagy Bummtól az
értelemig és tovább

1. Az Univerzum
2. A téridő
3. A tágulás dinamikája
4. Az anyag

5. Az Univerzum anyagának szabályos története

6. Hoppá! Egy meglepő közjáték

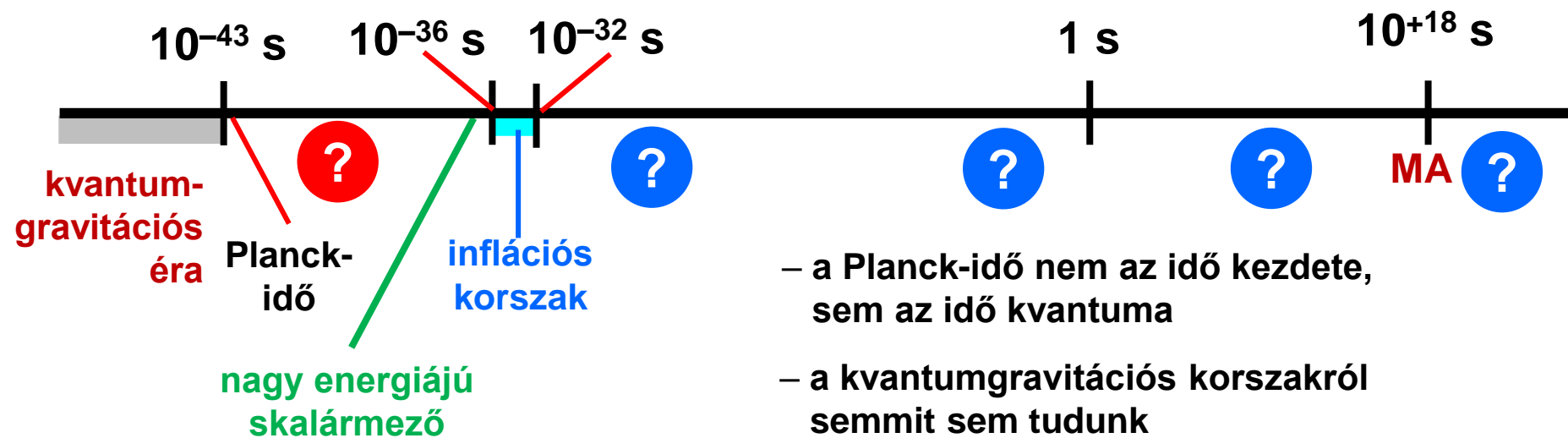
7. A hetedik te magad légy!



Az Univerzum anyagának szabályos története

a ma ismert fizikai törvények alapján

Időskála (logaritmikus)

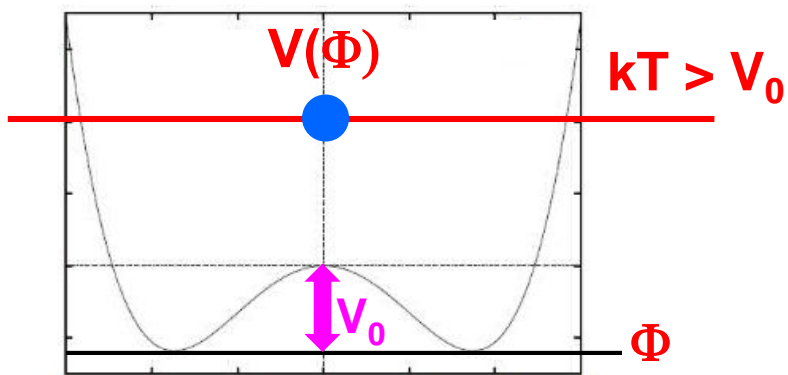


$$t_p = \sqrt{\frac{G \hbar}{c^5}}$$

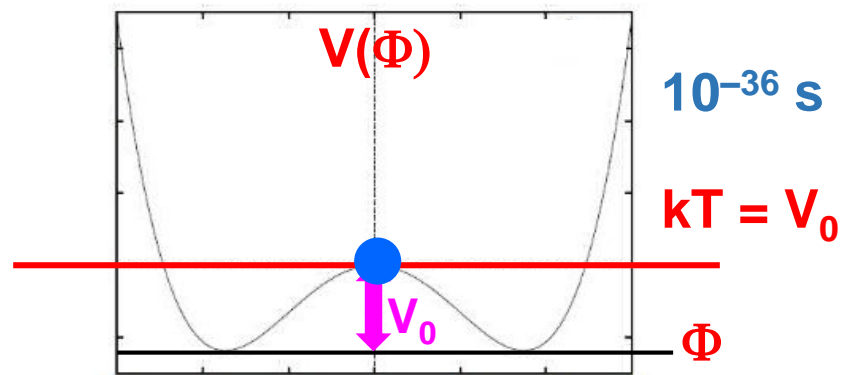
- a Planck-idő nem az idő kezdete, sem az idő kvantuma
- a kvantumgravitációs korszakról semmit sem tudunk
- erről a korszakról csak sejtéseink vannak
- erről a korszakról viszont az ismert fizikai törvények alapján mindent ki tudunk deríteni!



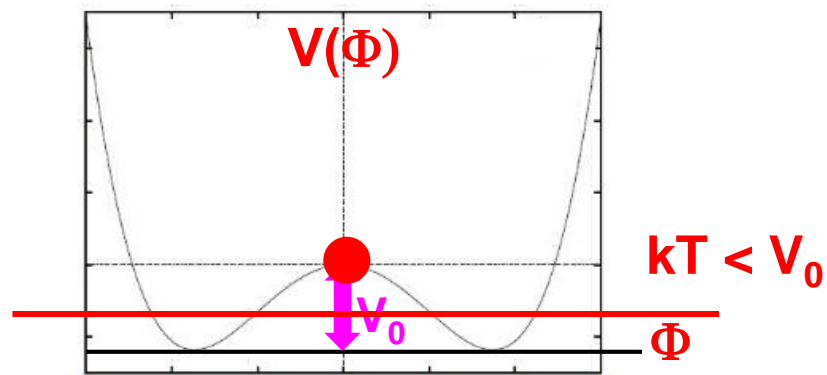
Mi történt az infláció végén?



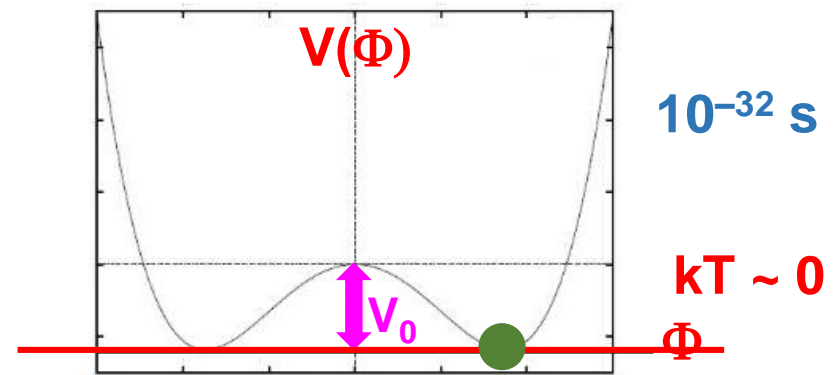
nagy hőmérséklet,
szimmetrikus skalármező



kisebb hőmérséklet,
szimmetrikus skalármező



alacsony hőmérséklet,
túlhűtött, metastabil állapot,
szimmetrikus skalármező,
INFLÁCIÓ

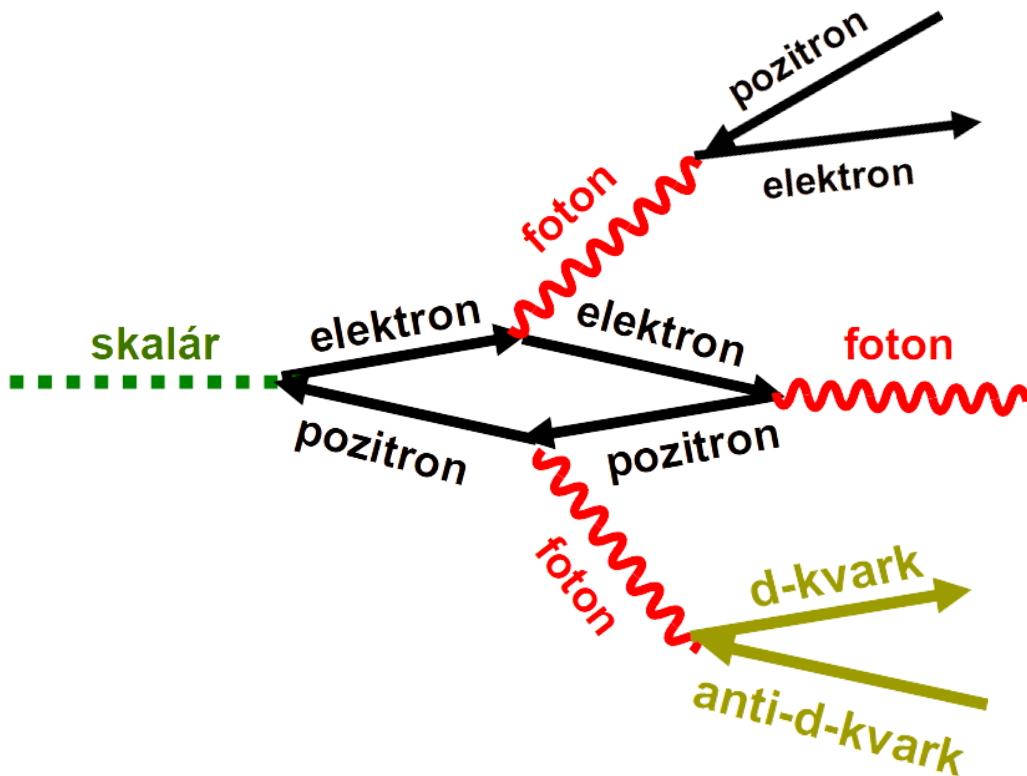


nagyon alacsony hőmérséklet,
szimmetriasértés,
alapállapotú skalármező,
AZ INFLÁCIÓ VÉGE



Mi történt az infláció végén?

A skalármező a gerjesztett állapotból leugrik az alapállapotba, ezzel minden térfogategységben felszabadul V_0 energia



Ez az energia fermion–antifermion párok keltésére fordítódik.

Ezek vektorbozonokat bocsátanak ki, illetve **annihilálódnak**.

A vektorbozonok újabb fermionpárokat keltenek.

Nagyon rövid idő alatt nagyon sok részecske keletkezik, minden fajtából.

Ezek folyamatosan átalakulnak egymásba.

Az állandó energiacsere elvezet a **termodinamikai egyensúly** beállításához.

Létrejön az **ŐSI TŰZGÖMB**.

Közzjáték: az első struktúrák képződése

Az Univerzum tágulásával
az anyag ritkul

Egy idő után a kvarkok közti
átlagos távolság nagyobb
lenne, mint a gluonok
szabad úthossza,
azaz a gluonok által
közvetített
erős kölcsönhatás
hatótávolsága

Ekkor a gluonos anyag
„cseppekre” válik szét

Egy-egy csepp kifelé az erős
kölcsönhatás szempontjából
semleges („színtelen”),
ezért nem bocsát ki gluonokat.

Ezek a cseppek a **hadron**
nevű összetett részecskék.

Alaptípusok:

kvark–antikvark pár: mezon
három kvark: **barion**
csupa gluon: glueball (2024)
pentakvark?

A továbbiakban ezek
az összetett objektumok
egészként vesznek részt
az egyensúlyban
(pl. annihilálódhatnak a saját
antiojektumukkal)

Létrejön az **ŐSI TŰZGÖMB.**

Kezdetben a hőmérséklet sokkal nagyobb az összes részecske tömegénél

Minden részecske úgy viselkedik, mint a fotonok

Az anyag azonos a saját hősugárzásával

Az Univerzum tágulásával a hőmérséklet csökken

és leesik a legnehezebb részecskék tömege alá

ennek fizikájáról részletesen lásd:

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

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

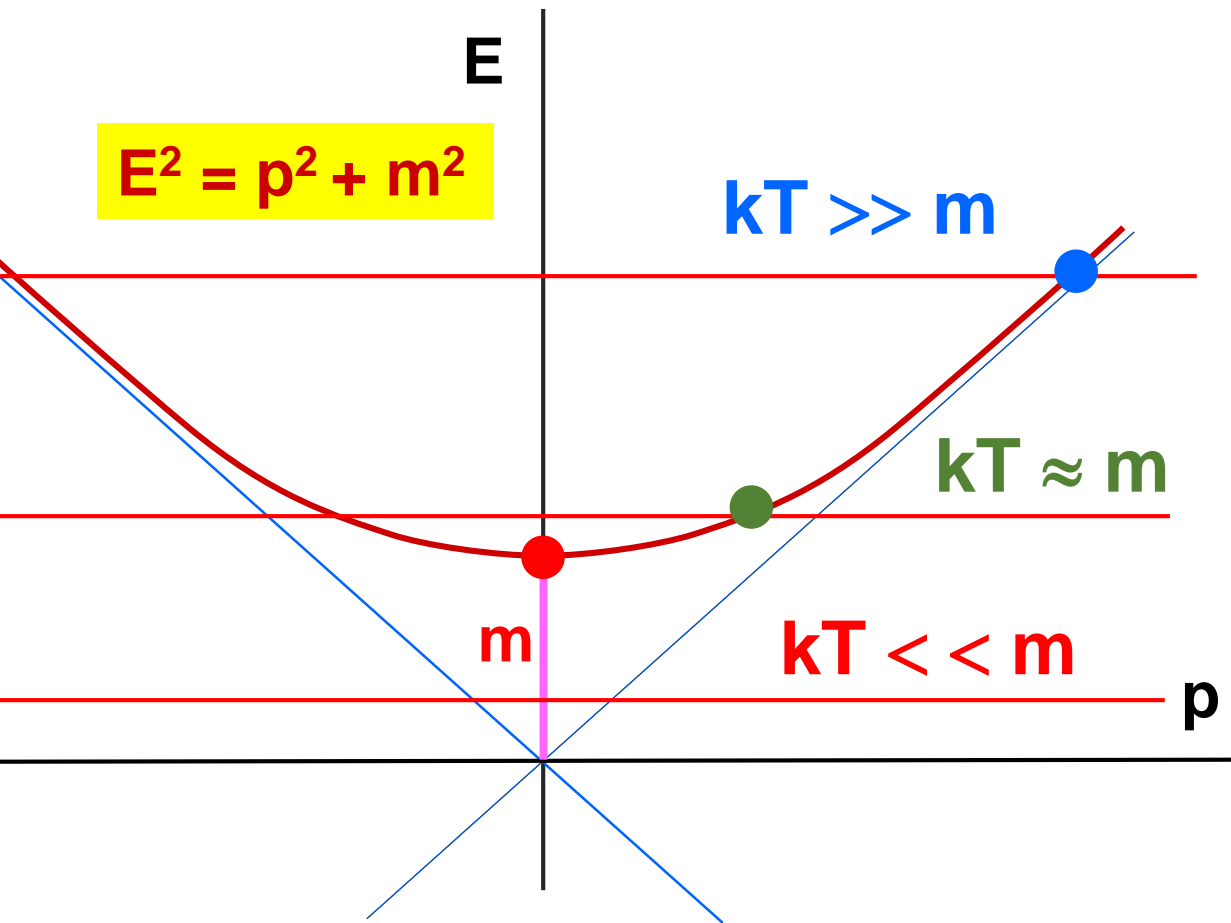
Ezek már nem tudnak létrejönni újabb párkeltéssel, mert nincs rá elég energia

A megmaradó nehéz részecskék **metastabil** állapotba kerülnek

Elbomlani nem tudnak, de **annihilálódni** igen!



Tömeges részecskék és az Univerzum termodinamikája



a részecske extrém relativisztikus, olyan, mintha foton lenne:
 $E \sim p$

a részecske viselkedése jelentősen eltér a relativisztikustól

a részecske túl sok energiával rendelkezik, a termodinamika szerint nem szabadna léteznie!

Ahogy a tágulás során az Univerzum hőmérséklete csökken, a tömeges részecskék **metastabil állapotba** kerülnek



A hőmérséklet csökkenésével az egyes részecsketípusok a tömegük szerint csökkenő sorrendben sorra kiszállnak a termodinamikai egyensúlyból

és annihilálódnak az antirészecske-párjukkal

Mivel a termodinamikai egyensúlyban a részecske–antirészecske szimmetria miatt minden részecskére jut egy antirészecske, **mindenki talál párt.**

Egy-egy ilyen felvonás végére az adott részecsketípus **teljesen kipusztul.**

A folyamat vége

A könnyű fermionok (leptonok) annihilálódnak a párjukkal

A nehéz bozonok (W és Z) korán kihalnak

A gluonok bezáródnak a hadronokba, de azok saját antihadronjukkal annihilálódnak

A folyamat végére kizárólag fotonok maradnak

(esetleg neutrínók is)

**A folyamat végére kizárólag
fotonok maradnak**

Az ősi tűzgömb vége
akkor jön el,
amikor a legkönnyebb
részecske–antirészecske párok
annihilálnak.

Ezek az elektron és a pozitron

Össztömegük 1 MeV

**Az Univerzum hőmérséklete
1 másodperccel
a Nagy Bumm után
süllyed erre az értékre**

Konklúzió:

**1 másodperccel a Nagy Bumm
után az összes részecske
eljátszotta átmeneti szerepét,
ettől kezdve az Univerzum
kizárólag fotonokból áll**

Ez a régi termodinamikai
egyensúly visszfénye,
a kozmikus háttérsugárzás

A Planck-eloszlású fotongáz az
Univerzum tágulása során
továbbra is Planck-eloszlású
lesz, $T \sim 1/a$ mértékben
csökkenő hőmérséklettel

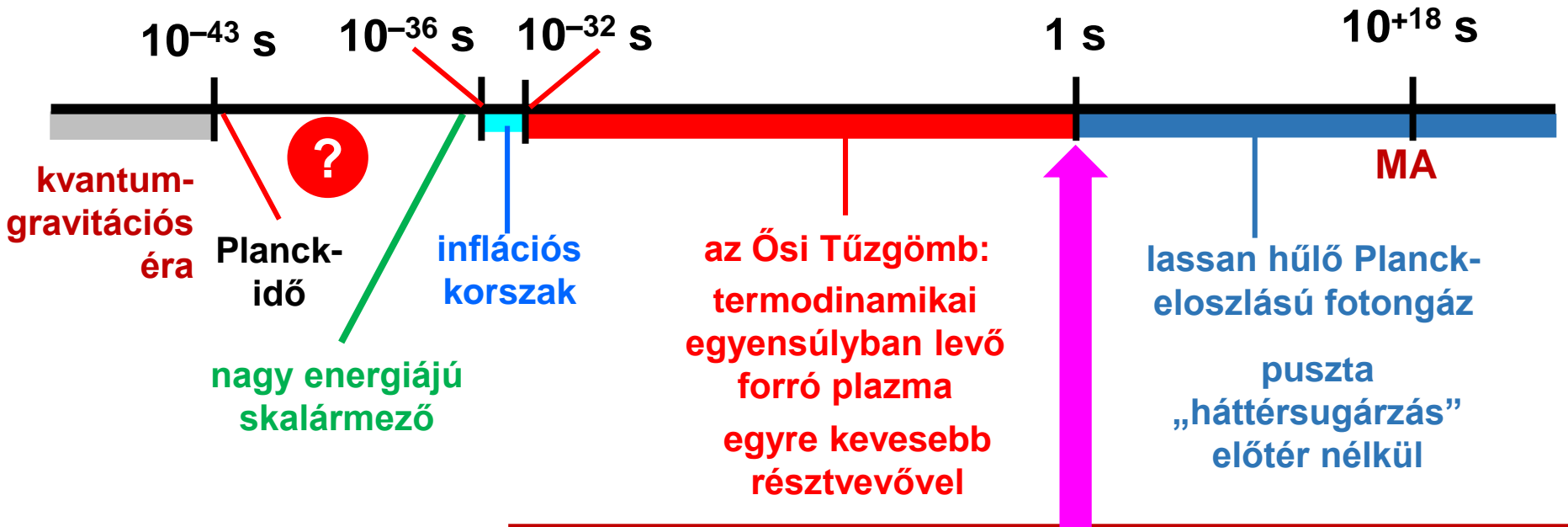
dgy: **A fekete fény**
Atomcsill, 2015.09.10



Íme tehát az Univerzum anyagának szabályos története

a ma ismert fizikai törvények alapján

Időskála (logaritmikus)



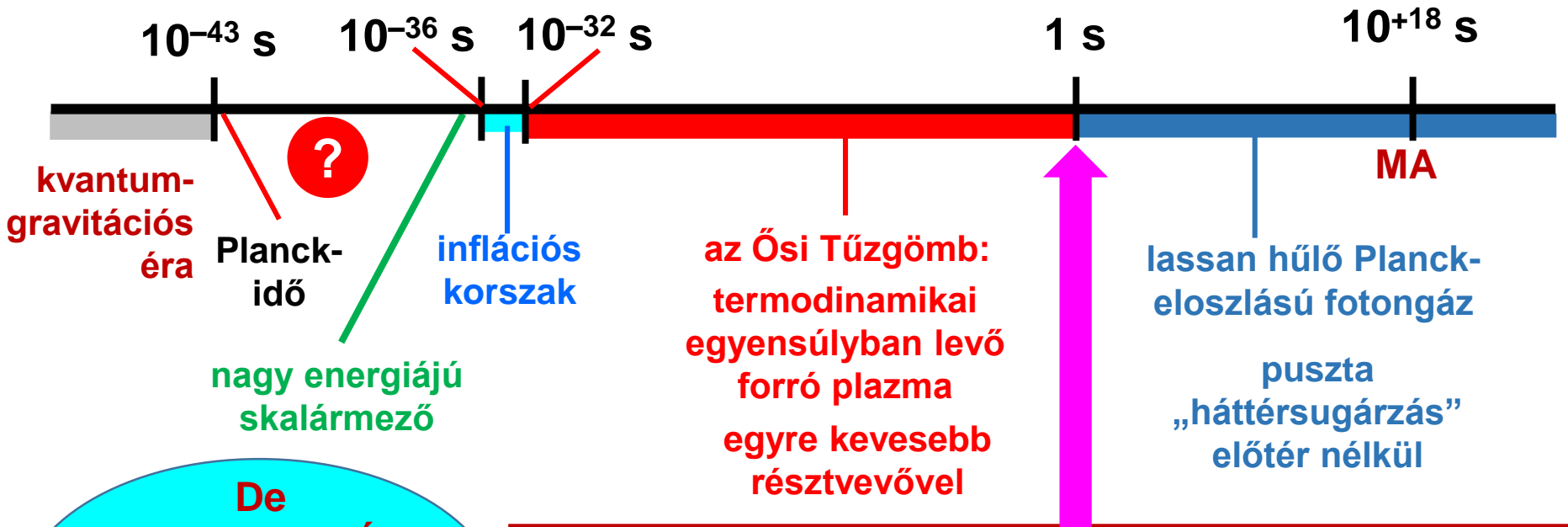
1 másodperccel a Nagy Bumm után a sztori véget ért: megkezdődött az utolsó, végtelen felvonás



Íme tehát az Univerzum anyagának szabályos története

a ma ismert fizikai törvények alapján

Időskála (logaritmikus)



De hol maradt az Élet, az Értelmelem, meg a Minden????????

1 másodperccel a Nagy Bumm után a sztori véget ért: megkezdődött az utolsó, végtelen felvonás



Az Élet, a Világmindenség meg Minden

az Univerzum története
a Nagy Bummtól az
értelemig és tovább

1. Az Univerzum
2. A téridő
3. A tágulás dinamikája
4. Az anyag

5. Az Univerzum anyagának szabályos története

6. Hoppá! Egy meglepő közjáték

7. A hetedik te magad légy!



Íme tehát az Univerzum anyagának szabályos története

a ma ismert fizikai törvények alapján

De
hol maradt az Élet,
az Értelem,
meg a
Minden???????

1 másodperccel a Nagy Bumm után a sztori véget ért:
megkezdődött az utolsó, végtelen felvonás

Most jön a hoppá!

Egy extra, meglepő fizikai tapasztalat,
ami nem illik az ismert fizikai törvények rendszerébe

rövid elnevezése:

AZ ANTIANYAG TITKA

az anyag és az antianyag mégsem annyira szimmetrikus, mint gondoljuk!



AZ ANTIANYAG TITKA

az anyag és az antianyag mégsem annyira szimmetrikus, mint gondoljuk!

A kísérletek és a QFT elmélete szerint az anyag és az antianyag tökéletesen egyformán viselkedik

Sótér Anna: **Mérlegen az antianyag**
Atomcsill, 2015.03.12

Ezért az Ősi Tűzgömbben pontosan ugyanannyi részecskének és antirészecskének kellett lennie.

Ez nem sérti az elektromos töltés megmaradását – fennmaradt egy pozitív proton és egy negatív elektron is.

De mégsem így volt:
ez a szimmetria is sérült
– igen kis mértékben

Kb. minden 1 milliárd antirészecskére
1 milliárd + 1 részecske jutott

**Mi ennek az
aszimmetriának az oka?**

NEM TUDJUK!

az annihiláció során keletkezett 1 milliárd foton – de **fennmaradt 1 db részecske**

Miért pont az anyag maradt fenn?

Ez egyszerű –
**azt nevezzük anyagnak,
ami fennmaradt...**



Így az Univerzum története nem ért véget 1 másodperccel a Nagy Bumm után!

**következik az unortodox történet
egy (vagy több) frissen betoldott kiegészítő felvonása**

Az Ősi Tűzgömb termodinamikai egyensúlya nem ér véget az utolsó lepton–antilepton párok szétsugárzásával

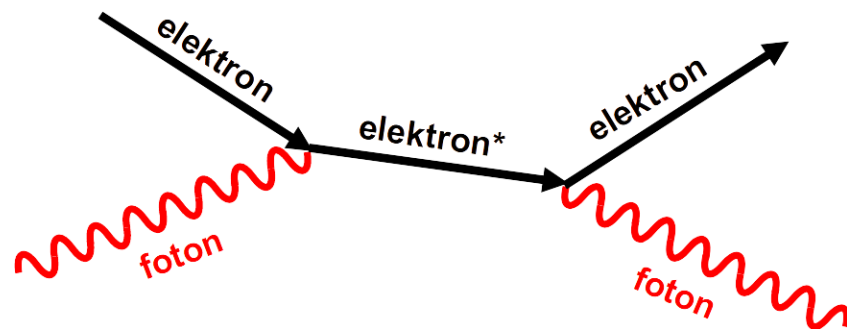
a rengeteg foton között elszórva maradt néhány töltött részecske (**barion és lepton**) is

Már hideg van: a fotonoknak nincs energiájuk új részecsképar keltéséhez

De tudnak szóródni a töltött részecskéken!

Ez is energiacsere: **fenntartja a termodinamikai egyensúlyt**

Ezért az Ősi Tűzgömb 1 másodperc helyett **10^{13} másodpercig** fennmarad (ez 380 ezer év)



Ezért az Ősi Tűzgömb 1 másodperc helyett **10^{13} másodpercig** fennmarad (ez 380 ezer év)

Eközben a nehezebb barionok és leptonok lebomlanak a legkönnyebbekre

A legkönnyebbek további bomlását megtiltják a töltésmegmaradási és a leptonszám-megmaradási törvények

Ezek csak annihilációval tűnhetnének el – **de már nem találnak antirészecske partnert**

Így a történetet túléli a legkönnyebb barion, a **proton**, és a legkönnyebb lepton, az **elektron**

A folyamat végén az Ősi Tűzgömb a kihűlőfélben levő rengeteg foton között elszórva elektronokat és protonokat tartalmaz



A folyamat végén az Ősi Tűzgömb a kihűlőfélben levő rengeteg foton között elszórva elektronokat és protonokat tartalmaz

a túlélő fermionok
tömeges részecskék

a hőmérséklet csökkenésével
le tudnak lassulni,
megállnak egymás mellett, és

**kötött állapotokat,
struktúrákat alkotnak**

dgy: **Az Univerzum anyagai**
Atomcsill, 2010.09.30

$$E^2 = p^2 + m^2$$

sebesség: $v = \frac{p}{E} < 1 = c$

a tömeges leptonok főszerrelésével
zajló felvonások cselekményének fő
eseménye

a STRUKTÚRÁK kialakulása

dgy: **Struktúrák térben és időben**
Atomcsill, 2019.10.10



a STRUKTÚRÁK kialakulása

a legelső kötött struktúrák, a kvarkokat és gluonokat tartalmazó **hadronok** (mezonok és barionok) az anyag ritkulásával már a forró tűzgömbben kialakultak

de a szabványos forgatókönyv szerint a barionok és az antibarionok később annihilálódnak

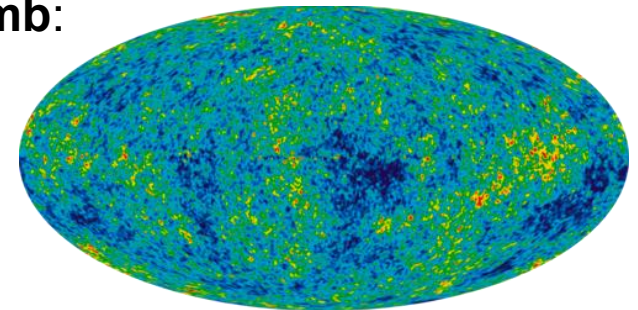
az unortodox forgatókönyv szerint viszont **a legkönnyebb barionok (protonok és egy ideig a neutronok is) túlélnek**

ezekből jönnek létre a következő struktúrák,
a könnyű atommagok, 10^3 másodperc (3 perc) körül

10^{13} másodpercnél már olyan hideg van (kb. 3000 K), hogy a proton és az elektron újabb kötött állapotot, **atomot** alkot

Ezzel **véget ér a plazmakorszak és az ősi tűzgömb**:
a sugárzás különválik
és az ismert történet szerint magában hűl

az utolsó közös pillanat emléke ez a szelfi



Az atomos anyag gravitációsan instabil: csomósodni kezd

itt valószínűleg besegít a „sötét anyag” is

Ezzel megszűnik az anyag sűrűségének és hőmérsékletének térbeli homogenitása!

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

**Kialakulnak sűrű és ritka,
hidegebb és melegebb tartományok**

Egyes anyagcsomók annyira felmelegednek, hogy ismét beindulnak az Ősi Tűzgömbben korábban lejátszódott folyamatok:
a nukleonok fúziója

megjelennek a csillagok

innen már csillagászokra is van igény!

dgy: **A lehűléstől forrósodó téglá**
Atomcsill, 2012.01.19

a csillagokban **tartósan**
(évmilliárdokig) **fennmaradnak** a
fúzióra alkalmas állapotok

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

a csillagok legyártják a **nehezebb
elemek atommagjait is** (ezek az
Ősi Tűzgömbben nem jöttek létre)



a felrobbanó szupernóvák
szétszórják a nehezebb
atommagokat a világűrbe

ezek lehűlve
elektronbefogással
atomokká alakulnak

az atomok másodlagos,
kisebb energiájú
kötött állapotokat,
molekulákat és
porszemeket alkotnak

a porszemeket a gravitáció
bolygókká húzza össze

dgy: **Szupernóva**
Atomcsill, 2013.09.19

jöhetnek a vegyészek és a
szilárdtest-fizikusok!

megfelelő körülmények között a bolygókon
harmadlagos, kis energiájú kémiai reakciók
bonyolult,
önreprodukáló molekuláris struktúrákat
alakíthatnak ki



megfelelő körülmények között a bolygókon
harmadlagos, kis energiájú kémiai reakciók
bonyolult,
önreprodukáló molekuláris struktúrákat
alakíthatnak ki

most már biológusokra
is szükség lesz!

e struktúrák szükségszerűen
evolúciós versenybe kezdenek

kedvező körülmények között
az evolúció elvezethet
az értelem
megjelenéséhez

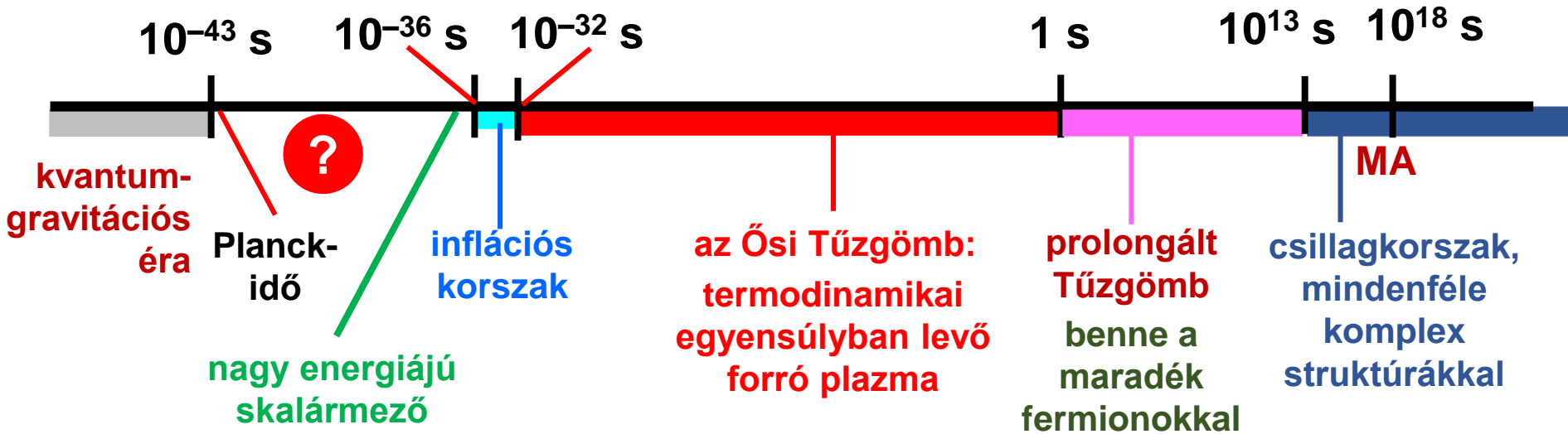


Íme tehát az Univerzum anyagának unortodox története

a ma ismert fizikai törvények alapján

kiegészítve a véletlen szerencsével

Időskála (logaritmikus)



az anyag – antianyag aszimmetria új, izgalmas felvonásokat fűzött a kissé unalmas történethez!

Itt van az Élet,
az Értelem,
meg a Minden!



Az Élet, a Világmindenség meg Minden

az Univerzum története
a Nagy Bummtól az
értelemig és tovább

1. Az Univerzum
2. A téridő
3. A tágulás dinamikája
4. Az anyag

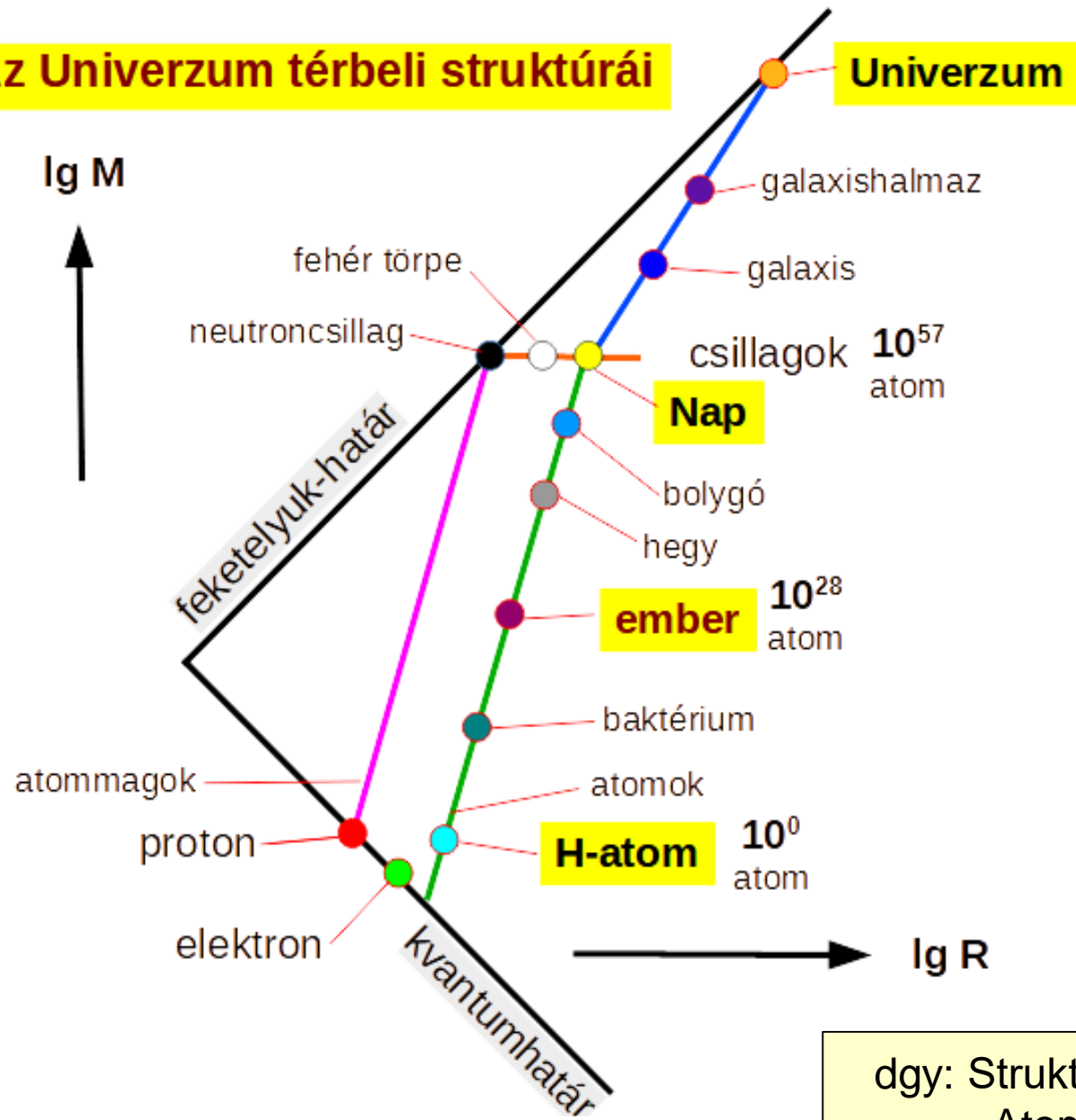
5. Az Univerzum anyagának szabályos története

6. Hoppá! Egy meglepő közjáték

7. A hetedik te magad légy!



Az Univerzum térbeli struktúrái



a stabilan létező
struktúrák között, a
logaritmikus léptékű
térkép közepén
megjelenik
maga
az Ember is

dgy: Struktúrák térben és időben
Atomcsill, 2019.10.10





Az ember felnéz bolygójáról a csillagokkal és egyéb struktúrákkal teli égre, felsóhajt, és megkérdezi:

Vajon minek köszönhető az Élet, a Világegyetem, meg Minden?





Az ember felnéz bolygójáról a csillagokkal és egyéb struktúrákkal teli égre, felsóhajt, és megkérdezi:

Vajon minek köszönhető az Élet, a Világegyetem, meg Minden?

És most már tudja a Választ:



Az ember felnéz bolygójáról a csillagokkal és egyéb struktúrákkal teli égre, felsóhajt, és megkérdezi:

Vajon minek köszönhető az Élet, a Világegyetem, meg Minden?

És most már tudja a Választ:

mindez az Univerzum története **két furcsa eseményének** köszönhető:

az első az **infláció** volt, amely létrehozta a hatalmas homogén tartományt, a későbbi események színterét

az második pedig az **anyag–antianyag szimmetriasértés**, ami lehetővé tette az amúgy efemer fermionok fennmaradását a unortodox forgatókönyv extra felvonásai során, és ezzel **a fermionokból álló struktúrák** kialakulását

Aktuális technikai megjegyzés:

Ez a szimmetriasértés volt
a világ legnagyobb
akkumulátor-gyártó üzeme:



a protonok és az elektronok tömege
a hajdani Ősi Tűzgömb energiájának
kis csomókban megőrzött maradéka

a Napban zajló magfúzió
ennek a megőrzött energiának
egy kis részét szabadítja fel,
és ezzel teszi lehetővé
a Földön mint
nyílt rendszerben zajló
antientropikus folyamatokat



Vajon véletlen ez a szerencsés szimmetriasértés?

a multiverzum-elmélet szerint nem!

Végtelen sok „párhuzamos” univerzum alkotja a Multiverzumot.

Mindegyikben kicsit mások a fizikai paraméterek.

A sok közül egyesekben **véletlenül** éppen úgy alakulnak a viszonyok, hogy lehetővé teszik az unortodox forgatókönyvet, **a struktúrák kialakulását és tartós fennmaradását.**

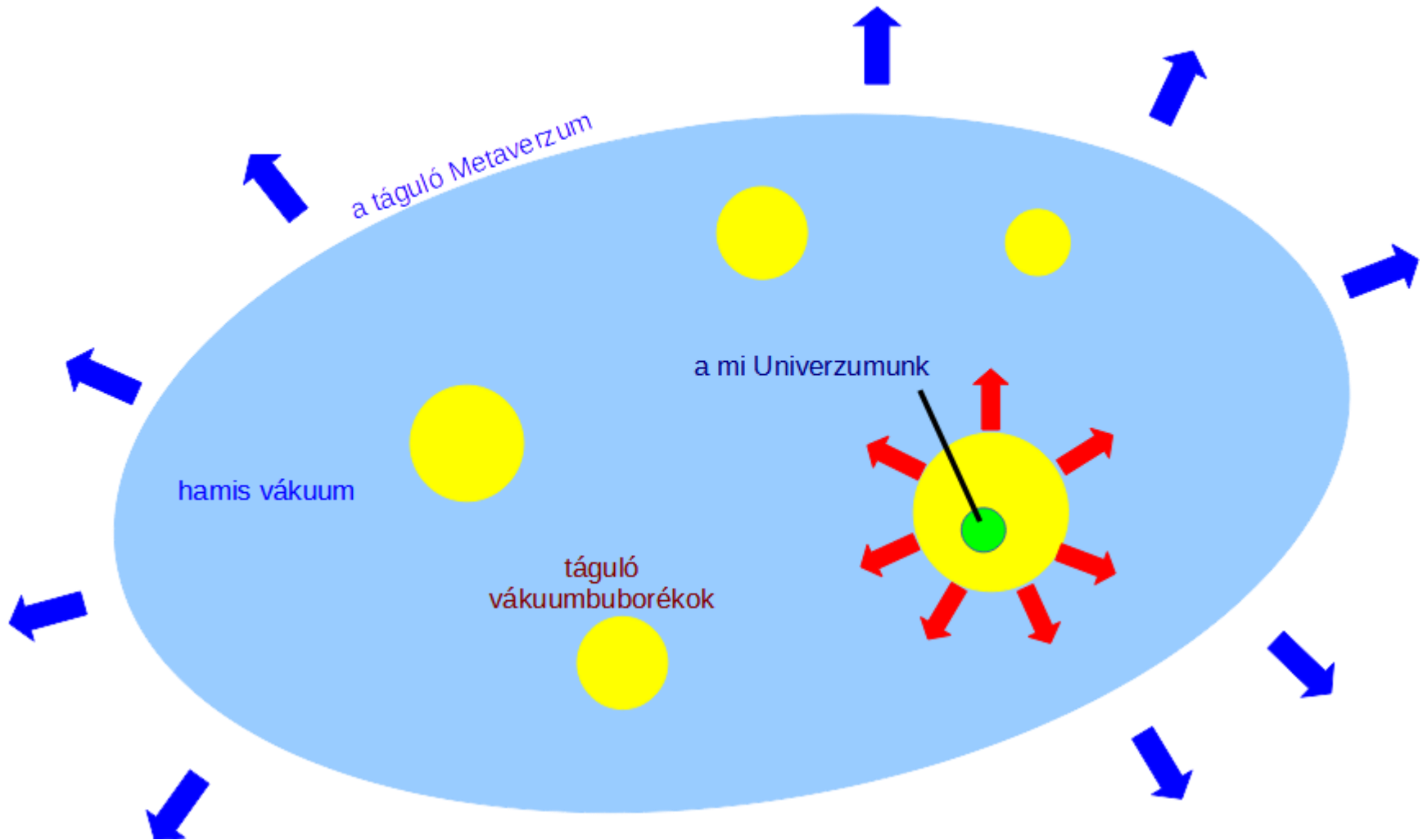
Az Életre, a Világegyetemre meg Mindenre vonatkozó kérdéseket természetesen csak egy ilyen szerencsés univerzumban kialakuló **komplex és kíváncsi struktúrák** tehetik fel.

dgy:
A lakható Világegyetem
Természet Világa 1970/6



A multiverzum-elmélet egyik verziója

Örökös inflációs modell



Utójáték

Végső soron persze győz az entrópia

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

az anyag – antianyag szimmetriasértéssel fennmaradt tömeges részecskék **metastabilok**, és a belőlük felépült struktúrák hosszú (nagyon hosszú) távon leépülnek, elbomlanak, megsemmisülnek.

lassan hűlő Planck-eloszlású fotongáz
puszta
„háttérsugárzás”
előtér nélkül

**De közben volt egy számunkra igen kellemes, néhány milliárd éves közjáték.
Örüljünk neki, és becsüljük meg!**



Utójáték

Végső soron persze győz az entrópia

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

az anyag – antianyag szimmetriasértéssel fennmaradt tömeges részecskék **metastabilok**, és a belőlük felépült struktúrák hosszú (nagyon hosszú) távon leépülnek, elbomlanak, megsemmisülnek.

lassan hűlő Planck-eloszlású fotongáz
puszta
„háttérsugárzás”
előtér nélkül

**De közben volt egy számunkra igen kellemes, néhány milliárd éves közjáték.
Örülünk neki, és becsüljük meg!**

A majdani kihűlő világ értelmes lényei a halott csillagok és fekete lyukak infravörös sugárzásában sűtkérezve visszagondolnak ránk, **és irigyelni fognak bennünket, mert mi még láttuk a Világegyetemet fiatal korában.**

(A. C. Clarke)

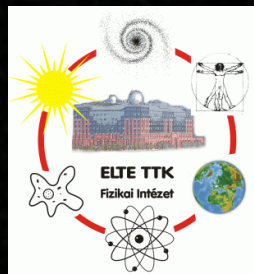


Köszönöm a figyelmet!

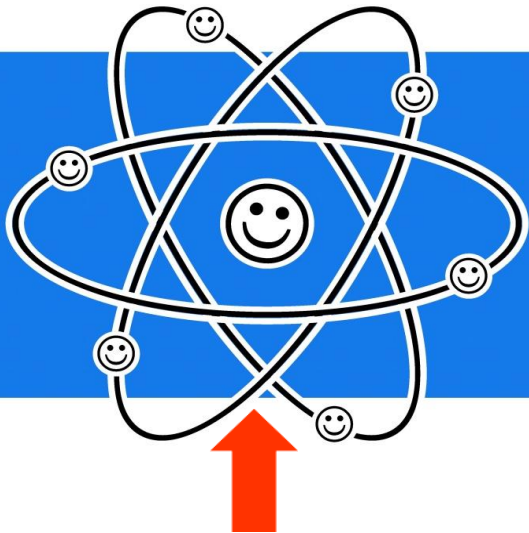
Az Élet, a Világmindenség meg Minden

az Univerzum története
a Nagy Bummtól az
értelemig és tovább
2. rész

Dávid Gyula
2024. 11. 05.



Az atomoktól a csillagokig
huszadik évad



A fizika mindenké

BONUSKÉRDÉS

Az ábrán az Élethez nélkülözhetetlen,
a Világegyetemben Mindenütt
megtalálható objektum, a



atom látható.

Kérdés:

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



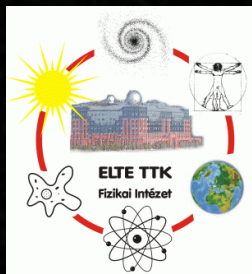
42

Köszönöm a figyelmet!

Az Élet, a Világmindenség meg Minden

az Univerzum története
a Nagy Bummtól az
értelemig és tovább
2. rész

Dávid Gyula
2024. 11. 05.



Az atomoktól a csillagokig
huszadik évad