

Repetitio est mater studiorum

A mai nap főszereplői

Kvarkok:

u up	c charm	t top
d down	s strange	b bottom

Leptonok:

e electron	μ muon	τ tau
ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino

Anyagi részecskék



Közvetítő részecskék

Z Z boson	γ photon
W W boson	g gluon

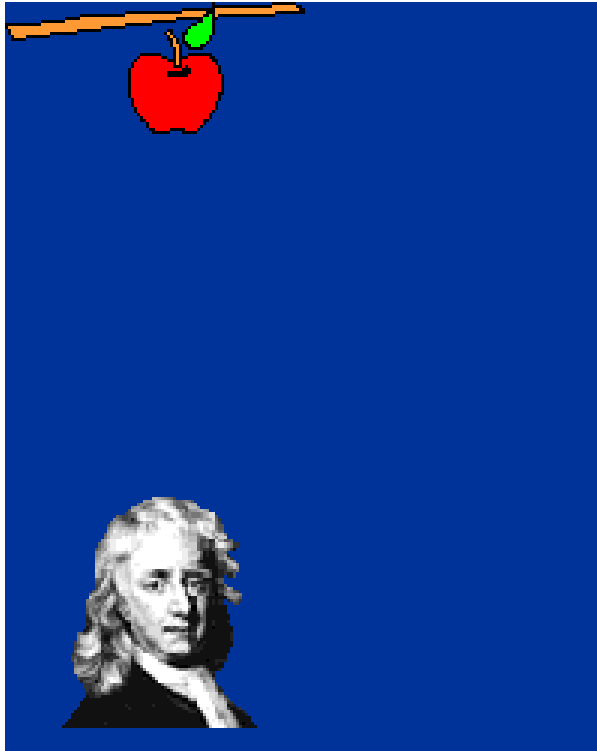
Ők mind „Fermionok” ($s=1/2$)

Ők mind „Bozonok” ($s=1$)

2. Kölcsönhatások



Milyen „**kölcsönhatásokra**” utalnak a képen látható jól ismert események?



A nagyon „tudományos” elnevezésük:

Gravitációs

Kölcsönhatás

Elekromágneses

Kölcsönhatások.

Amint láttuk a két legismertebb:

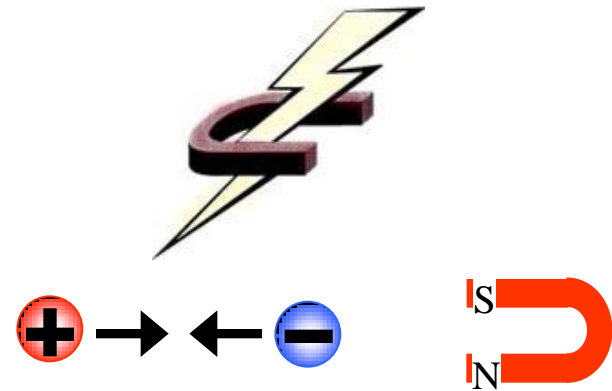
Gravitációs:



Jól ismert...
lásd

Sir Isaac Newton esetét
az almával

Elektromágneses:

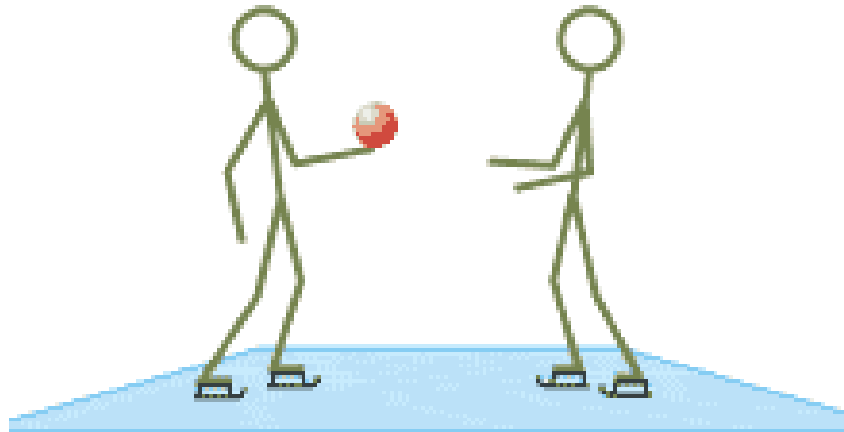


Elektromos
és Mágneses
jelenségek

De hogyan jön létre köztük a "kölcsönhatás" ?

A kölcsönhatások mechanizmusa (1)

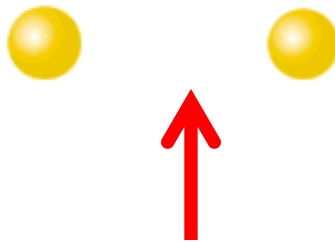
Egy játékos analógia:



A korcsolyázók közti
kölcsönhatás (erő)
„közvetítője”
a kölcsönösen egymásnak
dobott (cserélt)
labda („részecske”)

A kölcsönhatások mechanizmusa (2)

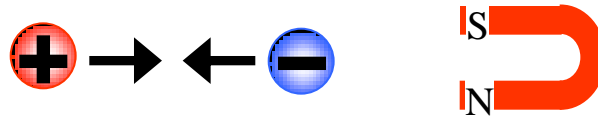
A „játékos” analógiához hasonlóan minden kölcsönhatásnak van egy (vagy több) közvetítő részecskéje!



Ezekkel a kölcsönhatást „közvetítő” részecskékkel fogunk most ismerkedni.
És:
megismerünk két újabb kölcsönhatást is!



Az elektromágneses kölcsönhatás és közvetítője



Elektromos és Mágneses jelenségek

Az elektromágneses kölcsönhatás

„forrása” az **elektromos töltés**

(csak elektromos töltéssel rendelkező részecskék között hat)

A közvetítő részecske a **foton** (γ -részecske)



A következőben
2 újabb kölcsönhatást mutatunk be nektek.

Ezek:



az erős

és

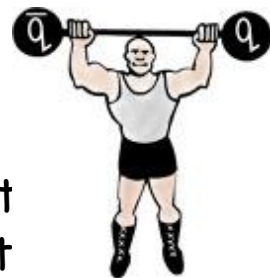
a gyenge



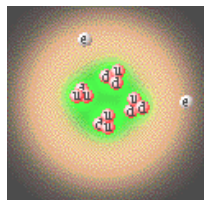
kölcsönhatások



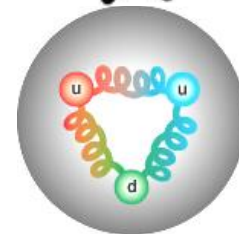
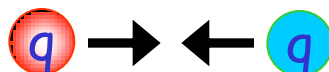
Az erős kölcsönhatás és közvetítői.



Az erős k.h. tartja össze az atommag protonjait/neutronjait és az összetett részecskék (pl. a proton/neutron) kvarkjait



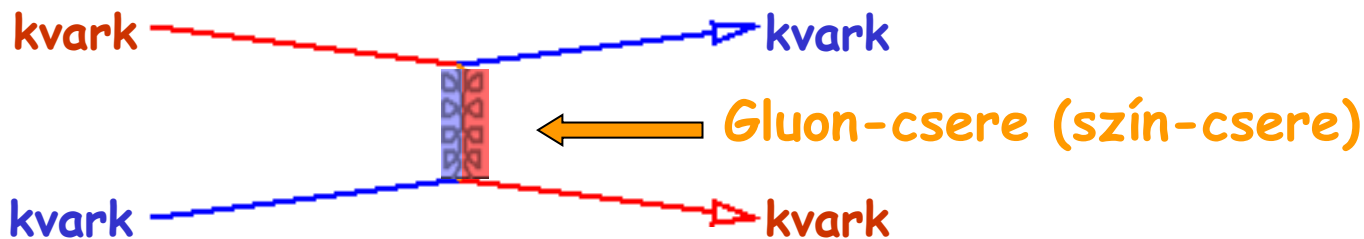
Atommag



proton

Az erős kölcsönhatás forrása a 3 színtöltés (R-G-B) közvetítői a gluonok (8)

A gluonok is „színesek” sőt „kétszínűek (1 szín + 1 antiszín)

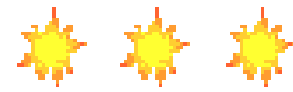


Az erős kölcsönhatás révén a kvarkok „vonzzák” egymást és színt cserélnek

Színtöltéssel rendelkeznek a kvarkok, de a leptonok nem, így azok érzéktelenek az erős kölcsönhatással szemben

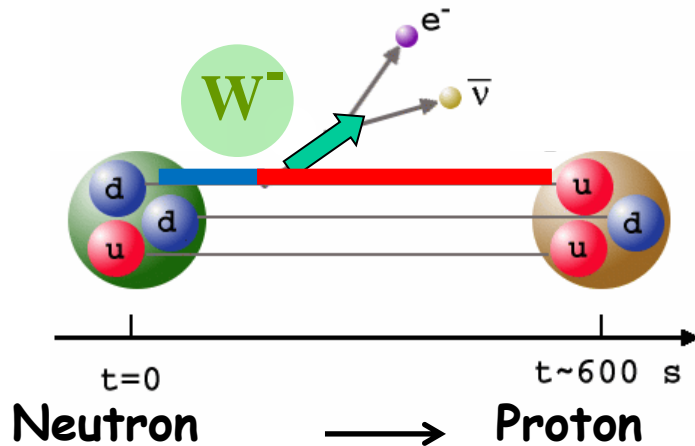
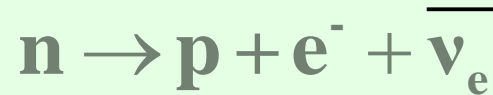


A gyenge kölcsönhatás és közvetítői

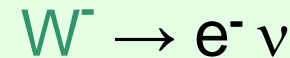
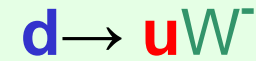


3 Nobel-díj

Példa: neutron (β) bomlása:



A kvarkok szintjén ez történik



A gyenge kölcsönhatásban
változhat a kvarkok „fajtája”:

itt pl. : $d \rightarrow u$

A szabad neutron ~ 10 perc alatt a fenti módon elbomlik.

A gyenge kölcsönhatás közvetítő részecskéi
a W^+ , W^- és Z^0 (nehéz!) bozonok

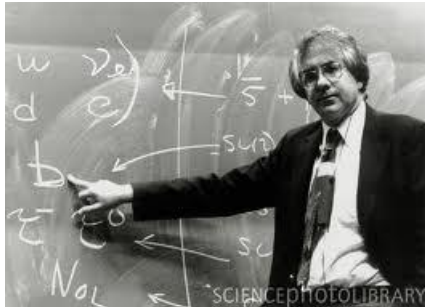
[$m \approx 80-90 m_{\text{proton}}$]

Fontos: „gyenge töltése” minden elemi
(anyagi) részecskének (kvarkok/leptonok) van
ezért egymással („gyengén”) kölcsönhatásba léphetnek!

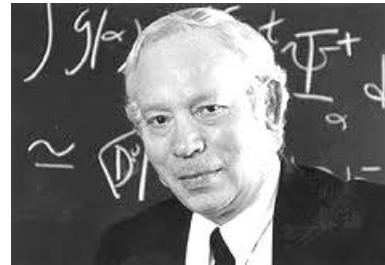
W/Z: Sok Nobel díj fűződik a felfedezésükhöz!

Ők jósták meg elméletileg.

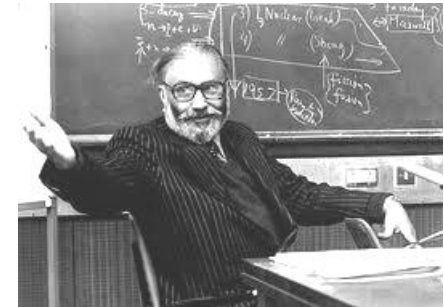
Nobel díj: 1979



Sheldon Glashow



Steven Weinberg



Abdus Salam

Ők pedig felfedezték CERN-ben, 1983-ban

Nobel díj: 1984



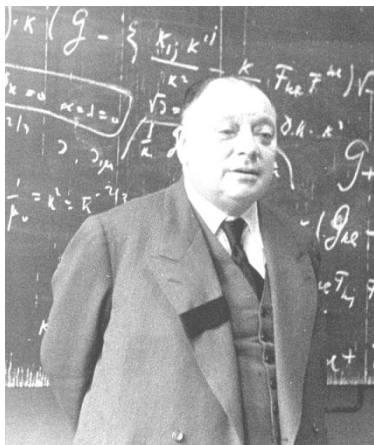
Carlo Rubbia



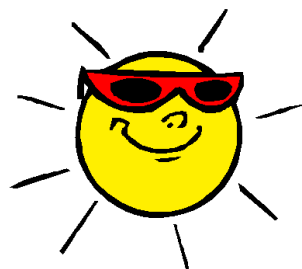
Simon van der Meer

Még egy perc két zseniről, a neutrínókról meg a gyenge kölcsönhatásról!

...és mondá *Wolfgang Pauli*: Legyenek neutrínók!
...és mondá *Enrico Fermi*: Hosszanak kölcsön gyengén!
És a Nap sugározni kezdte!

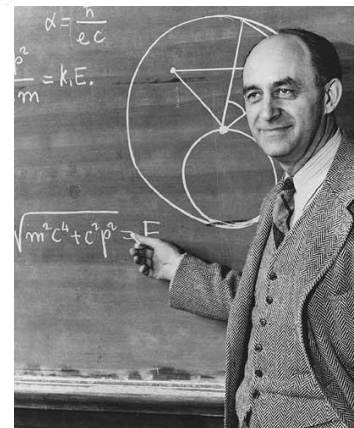


W. Pauli: aki „megjósolta”



A gyenge kölcsönhatás
a nap
energiatermelésének forrása

És így földi létezésünk
alapja!



E. Fermi: ő volt a „keresztapa”
és az elmélet kidolgozója



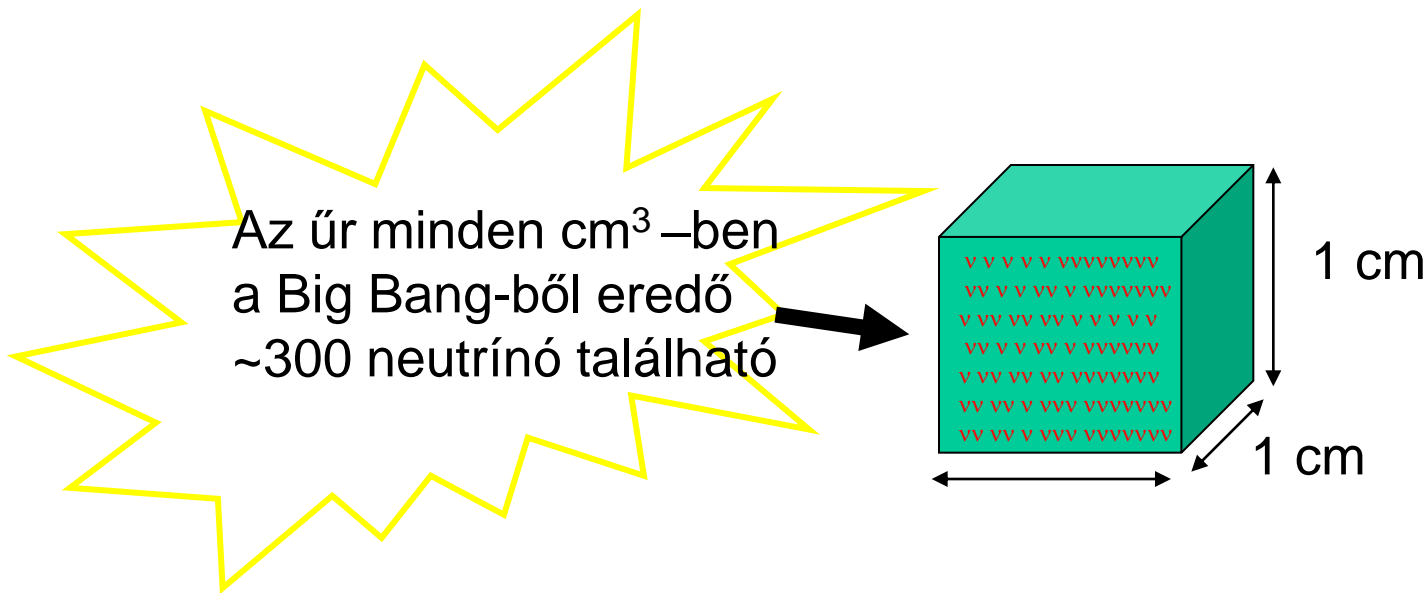
Nem csak a Nobel-díj
de megtisztelő
bélyegek is emlékeznek róluk...



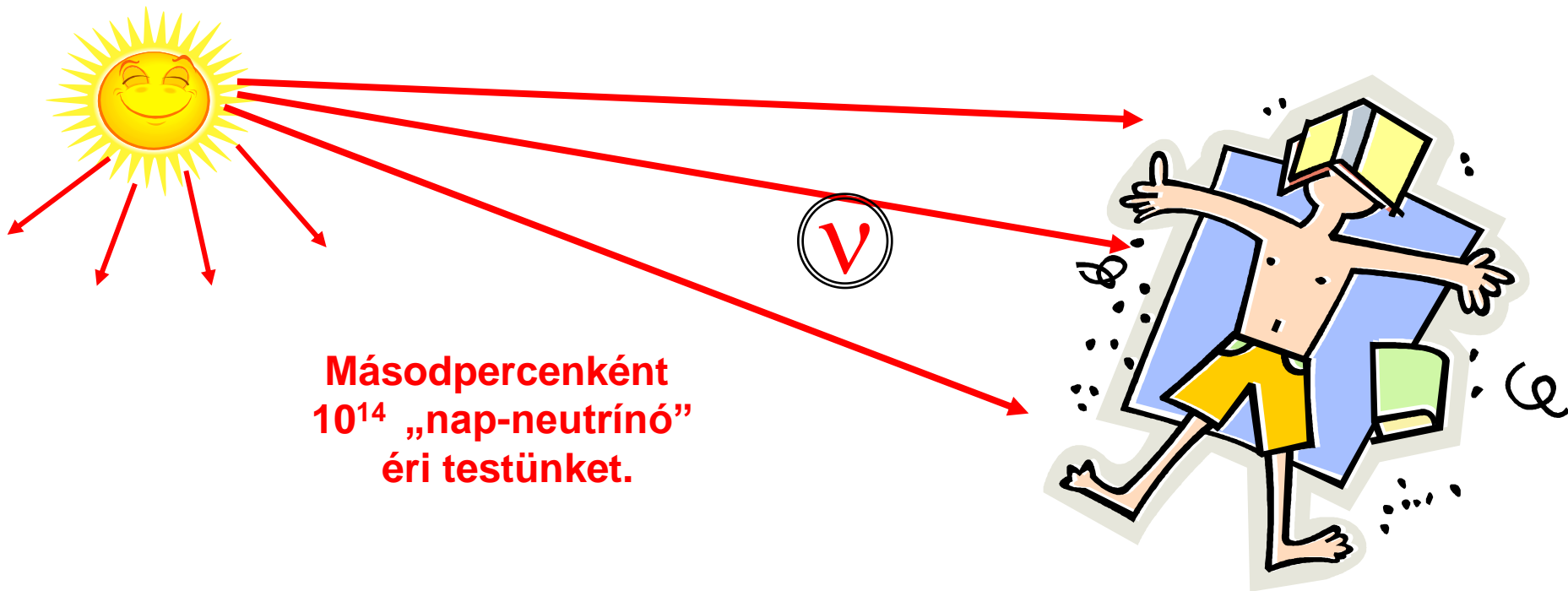
Érdemes megjegyezni:
A világegyetem leggyakoribb részecskéi a neutrínók!



Elektron, proton és a neutron „csak ritkaságok”!
Ezek mindegyikére 1 milliárd neutrínó jut az Univerzumban.



Neutrínók a bőrünk alatt is...



Másodpercenként
 10^{14} „nap-neutrínó”
éri testünket.

*Ne tessék aggódni!
A neutrínók nem bántanak bennünket.
Testünk átlátszó a neutrínók számára
(jönnek és mennek... még csak nem is köszöntenek...)*

Figyelem: Érdeemes a rejtélyes neutrínók után kutakodni

Nobel díjak:

1995:

A neutrínók
kísérleti kimutatása



Martin L. Perl



Frederick Reines

2015:

A 3 fajta (e, μ, τ) netrinó
váltogathatja egyéniségét
(oszcilláció).

Ehhez az kell, hogy
tömeggel rendelkezzenek!



Takaaki Kajita



Arthur B. McDonald

Érdekes amit a neutrínókról hallottunk
DE
térjünk vissza a 4 kölcsönhatáshoz!

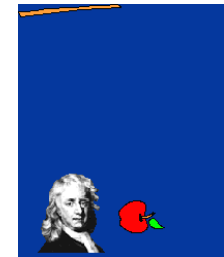
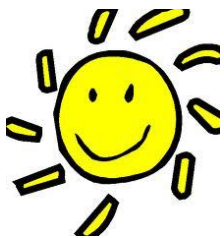
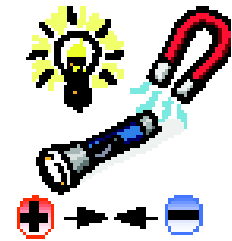
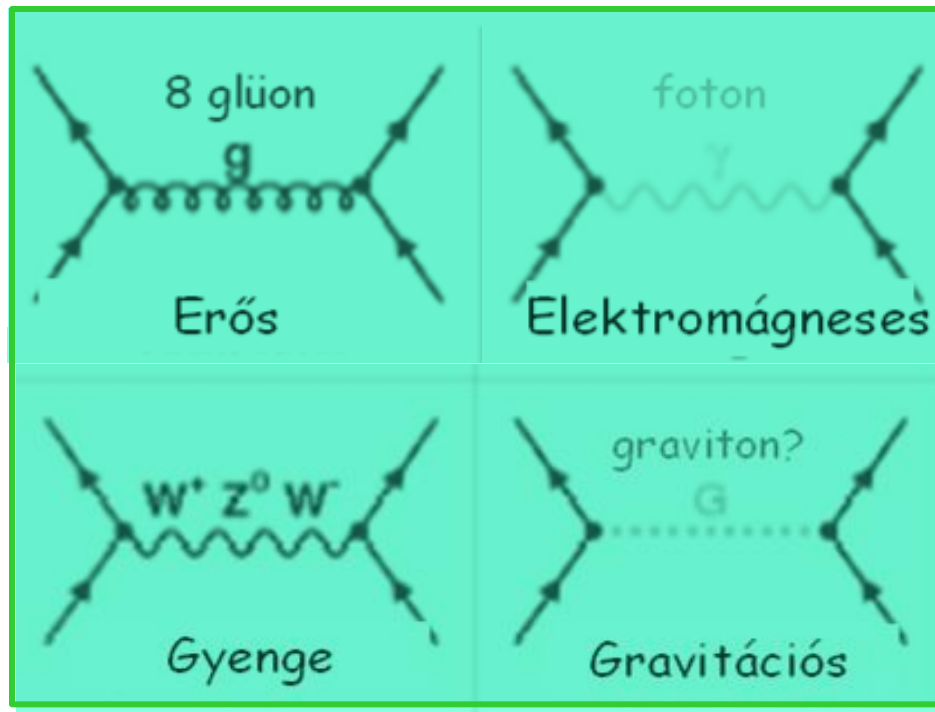
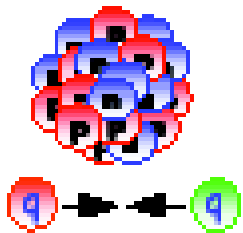
Összefoglaló. A 4 kölcsönhatás: **forrásaik** és **közvetítőik**

(ezt a lapot érdemes a fejükben feljegyezni!)

A kölcsönhatások „forrása” a részecskék töltése
[szín-, elektromos-, gyenge]

Töltés-töltés hatás: erős-erőssel, elektromos-elektromossal...
„Similis simili gaudet” (hasznos a hasznosnak örül)

A „közvetítők”:



Részecskék - Kölcsönhatások - Töltések - Közvetítők

(Repetitio est mater studiorum)

Minden kölcsönhatás egy töltéshez kapcsolódik!
A töltés „hordozói” a részecskék.

Kölcsönhatás	Töltés	Mire hat?	Közvetítő	Hatótáv	Rel. Erősség
Erős kh [vonzó]	„Színtöltés” (R,G,B)	Kvarkok (hadronok)	Gluonok (8)	$\approx 10^{-15}$ m	1
EM kh [vonzó/ taszító]	Elektromos töltés (e)	Elektromos töltésű részecskék (kvarkok, töltött leptonok)	Foton (γ)	végtelen	10^{-2}
Gyenge kh [bomlások]	„Gyenge töltés”	Kvarkok és Leptonok (minden részecske!)	W^+ , W^- , Z^0	$\approx 10^{-18}$ m	10^{-12}
Gravitáció [vonzó]	tömeg (m)	Minden „tömeges” részecske	Graviton(?)	végtelen	10^{-36}

Példák:

3 töltése van a kvarkoknak: *elektromos- szín- és gyenge töltés*

2 töltése van az elektromosan töltött leptonoknak (e^\pm, μ^\pm): *elektromos és gyenge töltés*

1 töltése van a neutrínóknak: *csak gyenge töltés*

Kérdések a kölcsönhatásokról.
IGEN / NEM válaszokat kérek
Az IGEN válaszokat kézfeltartással jelezzék.

Milyen részecskék közt hat az erős k.h.?

a: csak kvarkok közt

b: kvarkok és leptonok közt

Milyen részecskék közt hat a gyenge k.h.?

a: csak kvarkok közt

b: csak leptonok közt

c: minden anyagi részecske
(kvarkok és leptonok) közt

Az előző lapon látottakat
(részecskék és kölcsönhatásaik) az u.n.
Standard Modell
foglalja elméleti egységbe.

Ismétlésként
rakjuk mindezeket
1 összefoglaló lapra

Aki már nagyon elfáradt
Vagy
ismétlés nélkül is tudja
nyugodtan kihagyhatja.

A Standard modell részecskéi:
 anyagi részecskék (kvarkok / leptonok)
 és a kölcsönhatások közvetítői:

12 „anyagi” részecske
 (kvark/lepton:fermion)

Kvarkok	u up	c charm	t top
	d down	s strange	b bottom
Leptonok	e elektron	μ műon	τ tau
	ν_e	ν_μ	ν_τ

[Spin = 1/2 (Fermionok)]

12 „közvetítő”
 (bozon)



γ foton
g gluon
W^\pm bozon
Z^0 bozon

Közvetítők

$\gamma, 8 \text{ gluon}, W^+, W^-, Z^0$
 [Spin = 1 (Bozonok)]

Spin, bozonok és fermionok

Spin = belső impulzus-momentum (perdület)

A részecskék belső (kvantummechanikai) tulajdonsága DE nem „peregnek”



Föld:
saját pergés (24 óra)
+
keringés (1 év)

Csak meghatározott (kvantált) értékei lehetnek:
egész (0,1..) vagy félegész (1/2, 3/2...)

Bozon: egész spin (0:Higgs; 1:foton, gluon, W/Z; 2?:graviton?)

Fermion: félegész spin (1/2: kvarkok, leptonok)

[a kvarkokból összetett részecskék -a hadronok- a kvarkok egymás körüli „keringésből” (pályamomentum) további egészszel növelt perdülettel rendelkezhetnek]

A **fermionokra** érvényes a Pauli-féle kizárási elv:

egy meghatározott állapotban csak egy részecske lehet.

(Nincs zsúfoltság: egy széken csak egy néző ülhet. Nem „omlik” össze az anyag).

A **bozonok** „összezsúfolódhatnak” (lézer!, szuperfolyékonyság)

Ezen a képen már mindenkit ismerünk?

A mai nap főszereplői

Anyagi részecskék

Kvarkok:

u up	c charm	t top
d down	s strange	b bottom

Leptonok:

e electron	μ muon	τ tau
ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino



*Közvetítő
részecskék*

Z Z boson	γ photon
W W boson	g gluon

Ők mind „Fermionok” ($s=1/2$)

Ők mind „Bozonok” ($s=1$)

A következő lapokon
a világ legdrágább és
sokat keresett, 2012-ben végre megtalált
részecskéjéről, a **Higgs bozonról** ejtünk néhány szót.
(sokan nevezik „isteni részecskének” is)

A Nagy Hadron Ütköztetőn
(LHC: Large Hadron Collider)
folyt/folyik felkutatása
és tulajdonságainak tanulmányozására
az izgalmas vadászat.

De keresnek még egyéb elméletileg megjósolt
részecskéket is.

Ilyenek pl. a szuperszimmetrikus (SUSY) részecskék.
És... talán valami váratlan is felbukkan...

Költségek: ~10 milliárd €
[az LHC és a detektorok : ALICE, ATLAS, CMS]

Bemutatjuk a híres/fontos Higgs Bozont



Peter Higgs, a keresztapa

Az eddig ismertetett „standard” modell
az általunk ismert részecskefizikai jelenségek (részecskék és kölcsönhatásaik)
többségére helyes leírást ad
DE nem ad magyarázatot a részecskék tömegének eredetére.

Egy mindent kitöltő tér/(részecske) bevezetésével tömeghez jutnak a részecskéink!
Ezt a mindent kitöltő teret *Higgs térnek*,
a térnek megfelelő részecskét *Higgs bozonnak* nevezzük.

Szemléletesen (bár minden szemlélet kicsit sántít):
a részecskék a Higgs térrel „súrlódva” lesznek „tömegesek”,
a különböző részecskéknek különböző a „súrlódási” együtthatója
így különböző tömeghez jutnak.

Ki lesz a gyorsabb?



Nyertél, mert az én cipőm
nehéz lett a „Higgs tértől”
te pedig vákumban futottál!

A Higgs-tér és a Higgs bozon

1. Itt egy sajtófogadást látunk.

A vendégek megtöltik az egész termet.

A világunkat is kitölti egy tér: ez a **Higgs-tér**



2. A terembe belép egy híresség, a vendégek körbe veszik, nehezen mozdul előre a bárpulthoz, úgy érzi nehezebb (tömegesebb) lett.

A Higgs-térben a részecskék "tömegesek" lesznek .



3. Az ajtóban valaki egy érdekes hírt (pletykát) jelent be.

A hír elkezd terjedni a teremben,,,



4. ...és az emberek csoportokba gyűlve beszélni kezdenek az eseményről.

Ez a spontán csoportosulás, a tér bizonyos pontjain való sűrűsödés a Higgs bozon



Amit a Higgs-ről tudni illik:

- ➔ A Higgs-tér ad tömeget a részecskéknek
- ➔ Részecskéjét felfedezték CERN-ben, 2012-ben
- ➔ Tömege igen nagy $\approx 126 \text{ GeV}$
- ➔ Élettartama: $\approx 10^{-25} \text{ sec}$,
ezért csak bomlásai alapján azonosíthatjuk

A délutáni méréseink során
Higgs bozonokkal is találkozhatunk!

Nobel díj 2013.



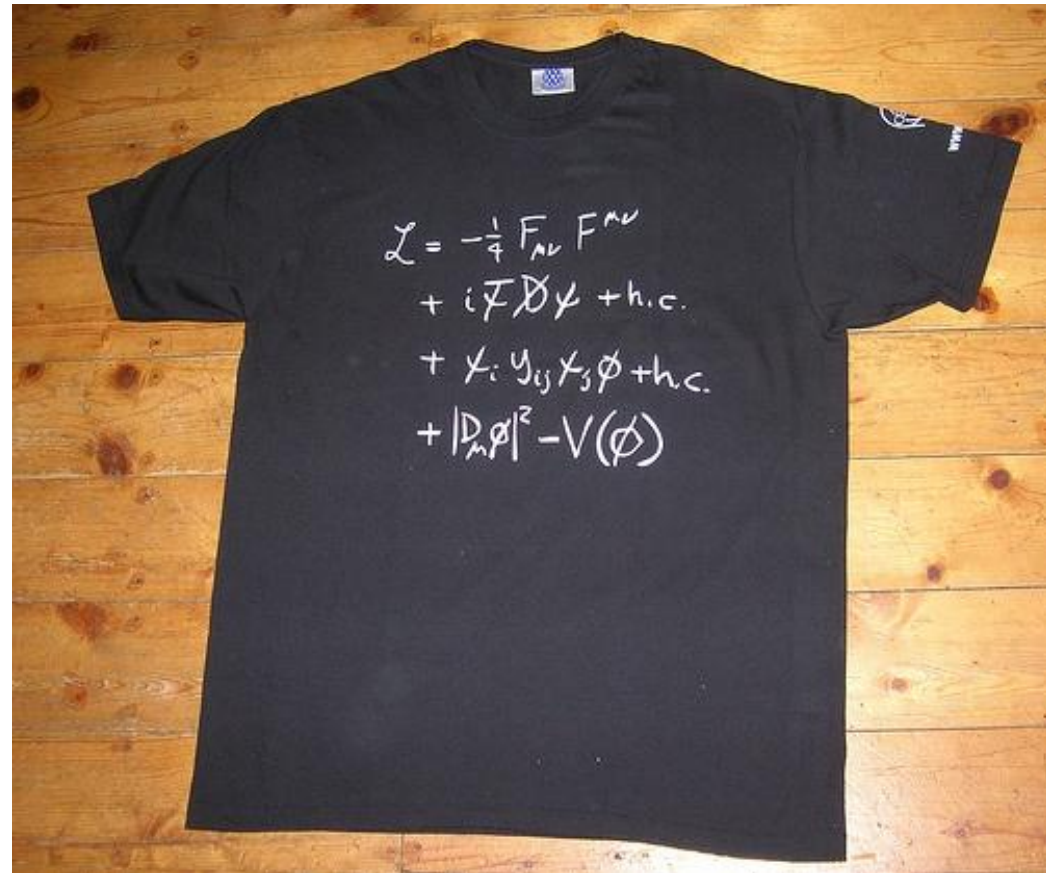
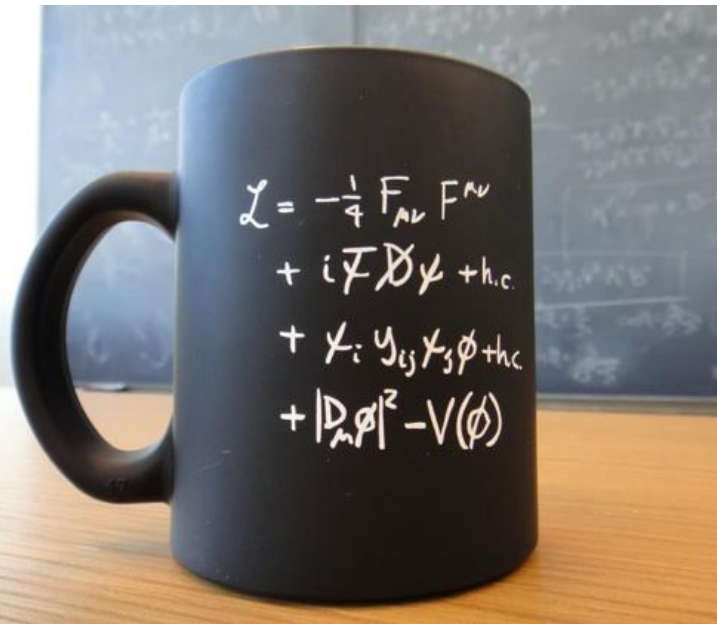
Francois Englert & Peter Higgs

Az ő -sok évvel korábbi- elméleti „jóslatuk” alapján indult meg az izgalmas kísérleti kutatás a Standard Modell hiányzó részecskéje, a Higgs bozon után.

Heuréka! 2012. július 4.
a CERN LHC két kísérlete (ATLAS, CMS) bejelenti
a H^0 felfedezését!

*DE ne feledjük, hogy ezek a felfedezések (W/Z/H) sok ezer fizikus/mérnök/technikus
sőt PhD hallgató együttes erőfeszítésének köszönhetőek!*

Eddig képekben mutattuk be a Standard modellt
most bemutatom az elméleti számolásokban
használt egyenleteket (rövidített alak)



Az elméleti fizikusok ennél ijesztőbb egyenletekkel számolnak,
és mert senkit nem akarok ijeszteni csak egy másodpercre villantom fel

Nem szükséges megjegyezni 😊

$$\begin{aligned}
 \mathcal{L}_{GWS} = & \sum_f (\bar{\Psi}_f (i\gamma^\mu \partial_\mu - m_f) \Psi_f - eQ_f \bar{\Psi}_f \gamma^\mu \Psi_f A_\mu) + \\
 & + \frac{g}{\sqrt{2}} \sum_i (\bar{a}_L^i \gamma^\mu b_L^i W_\mu^+ + \bar{b}_L^i \gamma^\mu a_L^i W_\mu^-) + \frac{g}{2c_w} \sum_f \bar{\Psi}_f \gamma^\mu (I_f^3 - 2s_w^2 Q_f - I_f^3 \gamma_5) \Psi_f Z_\mu + \\
 & - \frac{1}{4} |\partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu - ie(W_\mu^- W_\nu^+ - W_\mu^+ W_\nu^-)|^2 - \frac{1}{2} |\partial_\mu W_\nu^+ - \partial_\nu W_\mu^+ + \\
 & \quad - ie(W_\mu^+ A_\nu - W_\nu^+ A_\mu) + ig' c_w (W_\mu^+ Z_\nu - W_\nu^+ Z_\mu)|^2 + \\
 & \quad - \frac{1}{4} |\partial_\mu Z_\nu - \partial_\nu Z_\mu + ig' c_w (W_\mu^- W_\nu^+ - W_\mu^+ W_\nu^-)|^2 + \\
 & - \frac{1}{2} M_\eta^2 \eta^2 - \frac{gM_\eta^2}{8M_W} \eta^3 - \frac{g'^2 M_\eta^2}{32M_W} \eta^4 + |M_W W_\mu^+ + \frac{g}{2} \eta W_\mu^+|^2 + \\
 & + \frac{1}{2} |\partial_\mu \eta + iM_Z Z_\mu + \frac{ig}{2c_w} \eta Z_\mu|^2 - \sum_f \frac{g}{2} \frac{m_f}{M_W} \bar{\Psi}_f \Psi_f \eta
 \end{aligned}$$

A vizsgákon még a jeles osztályzatért sem kell „fejből” felírni.
Mit gondolnak miért?

A következőket csak a nagyon „vájtfülűeknek” ajánlom

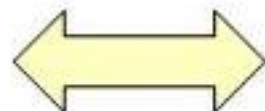
A szuperszimmetriáról
[SUSY]

Nobody is perfect! A Standard Modell sem!
 Jöjjön a Szuperszimmetria! [Supersymmetry: SUSY]

Avagy Fermionjaimat Bozonokra cserélném! 😊

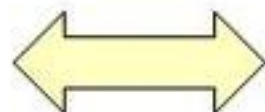
12 Fermion + 12 Bozon

Kvarkok	u up	c charm	t top	γ foton
	d down	s strange	b bottom	
Leptonok	e elektron	μ müon	τ tau	W[±] bozon
	ν_e	ν_μ	ν_τ	
				Közvetítők

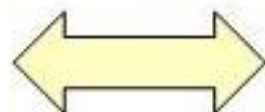


12 Bozon + 12 Fermion

S-Kvarkok	u up	c charm	t top	γ foton
	d down	s strange	b bottom	
S-Leptonok	e elektron	μ müon	τ tau	W[±] bozon
	ν_e	ν_μ	ν_τ	
				S-Közvetítők



SUSY



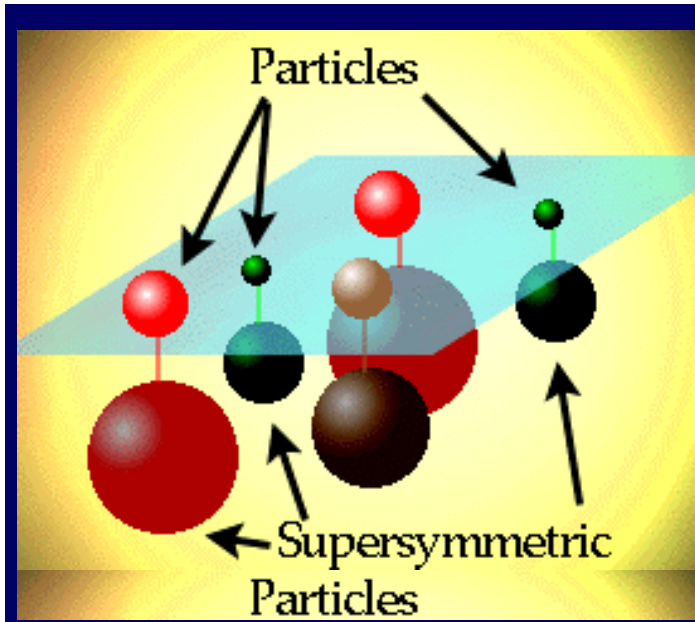
Spin = $\frac{1}{2}$
 Fermionok:
 6 Kvark,
 6 Lepton

Spin = 1
 12 Bozon:
 1Foton, 8gluon
 2W, 1Z

Spin = 1
 Bozonok:
 Skvarkok,
 Sleptonok

Spin = 1/2
 Fermionok:
 fotino, gluino
 Zino, Wino

Keresd a SUSY-t!

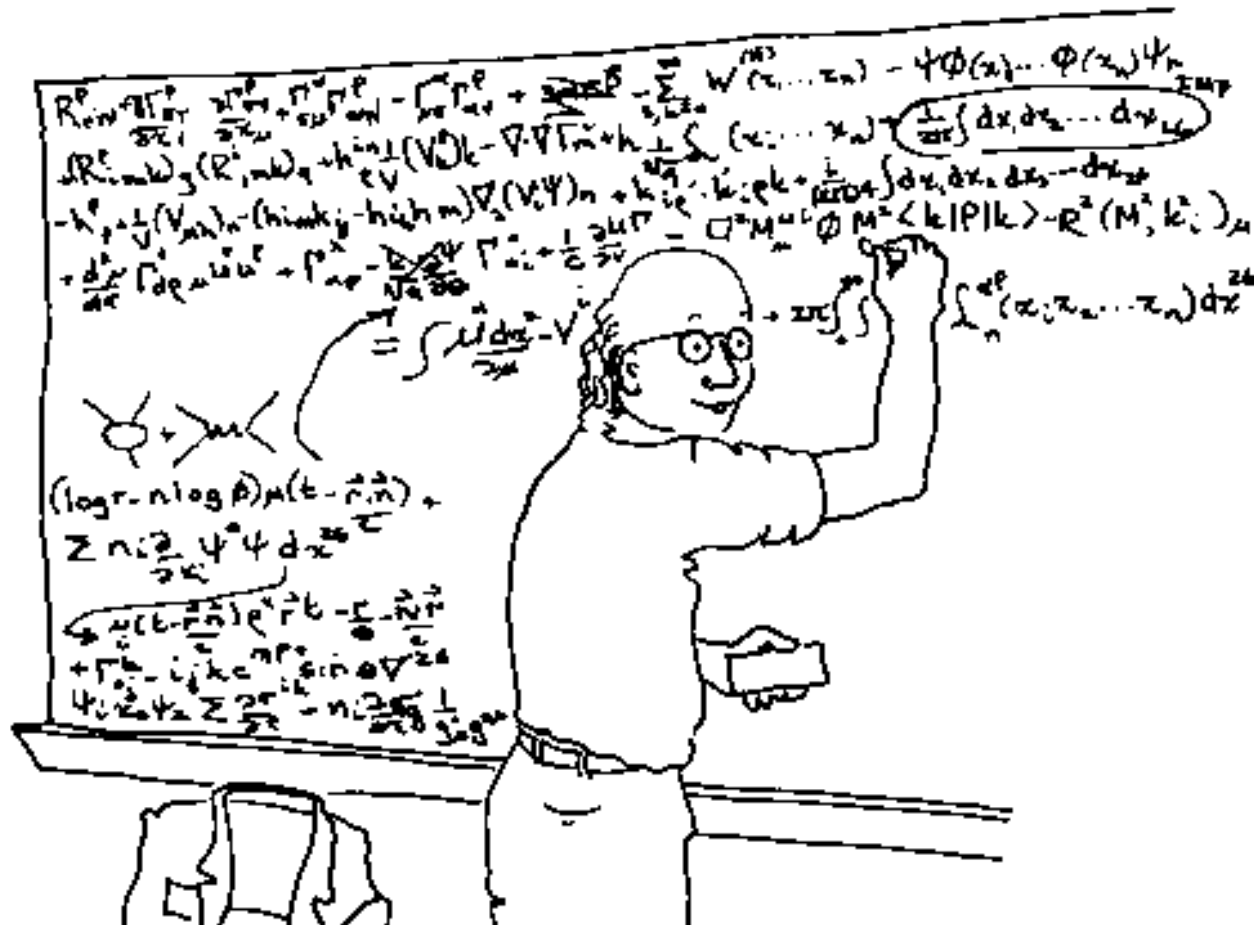


Szuperszimmetrikus részecskékkel ezidáig még nem találkoztunk. Talán mert Ők nehezebbek mint megszokott „világi” partnereik? Ennek a kérdésnek a megfejtésében is segít majd a Szupergyorsító újraindítása (LHC: Large Hadron Collider Nagy Hadron Ütköztető).

De legyünk óvatosak: lehet, hogy a „Szuzi” sem tökéletes? Szárnyaljon hát a fantázia: az igazi megoldást esetleg a megszokott 3+1 dimenziós világunkon túl kell keresni?

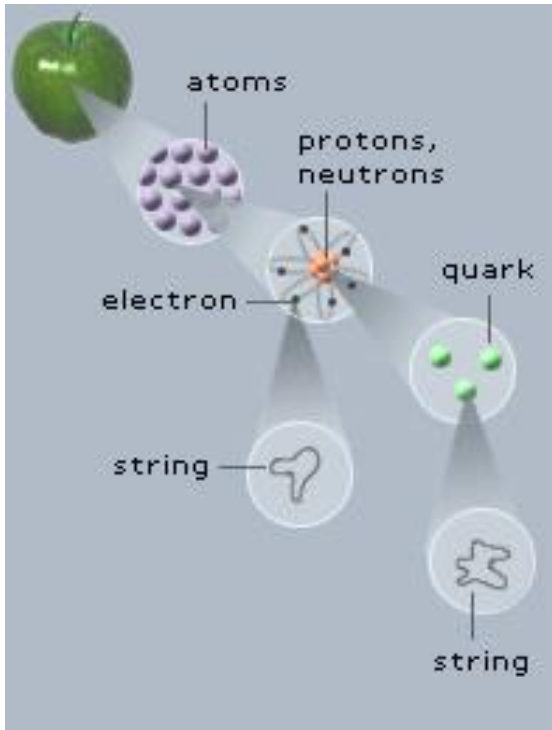


Az egyenletek bonyolódnak, egyre csak bonyolódnak...
avagy a fantázia tovább szárnyal

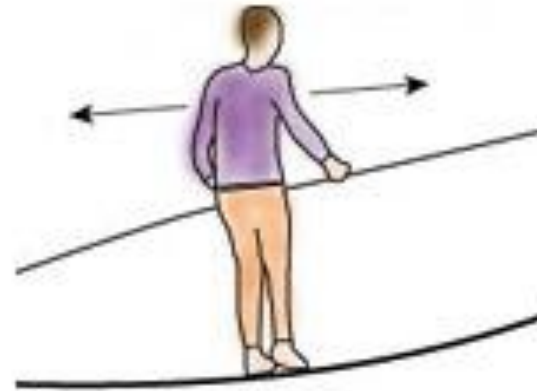


"At this point we notice that this equation is beautifully simplified if we assume that space-time has 92 dimensions."

Fantáziáljunk
tovább:
sokdimenziós
Húr-elmélet



Why wouldn't we notice extra dimensions?



An acrobat can only move
in one dimension along a
rope..



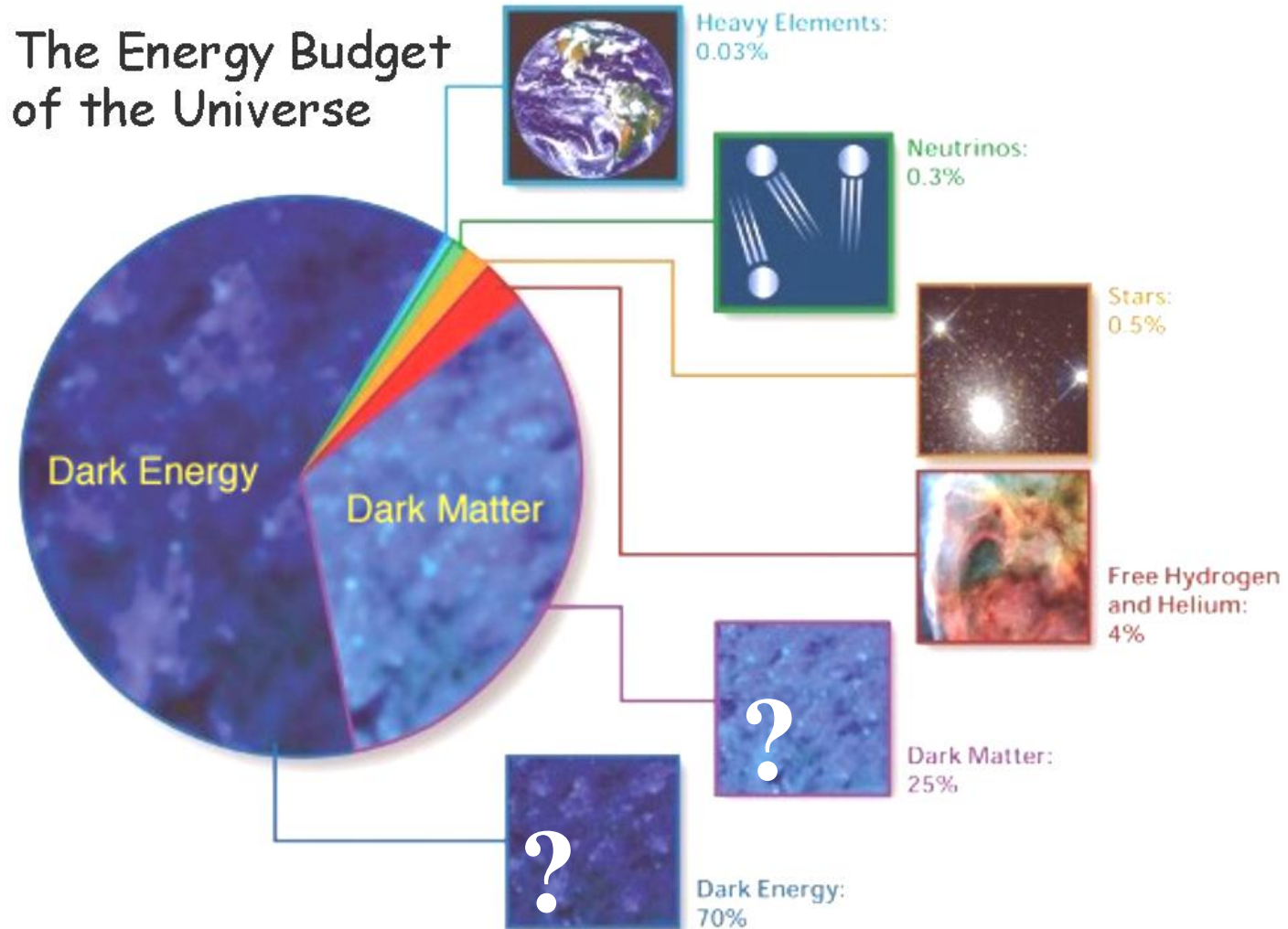
...but a flea can move
in two dimensions.

A húr-elméletben az elemi részecskék (elektron, kvarkok)
a sokdimenziós tér apró „húrjainak” rezgés-állapotai

És a miből áll a Világegyetem? Ismerjük?

Valójában csak egy kicsi részét...

Talány az ismeretlen „sötét” energiában, „sötét” anyagban van?



A történetnek
tehát nincs vége:
maradt elég felfedezni való Maguknak is!

(a díj anyagi háttérét a Nobel által létrehozott
alapítvány tőkéjének a kamatai fedezik)

Hurry Up!

A következő alkalommal
a gyorsítókról
és a detektorokról
fogunk beszélgetni