AZ ELEMI RÉSZECSKÉK ÉS ALAPVETŐ KÖLCSÖNHATÁSOK

Standard Modellje

Az elemi részecskékre és alapvető kölcsönhatásokra vonatkozó jelenlegi legpontosabb ismereteinket összegzi a Standard modell, amely az erős és egyesített elektrogyenge kölcsönhatások elmélete. A gravitáció, jóllehet alapvető kölcsönhatás, nem része a Standard modellnek.

Fermionok – az anyag építőkövei, spinjük: 1/2, 3/2, 5/2 ...

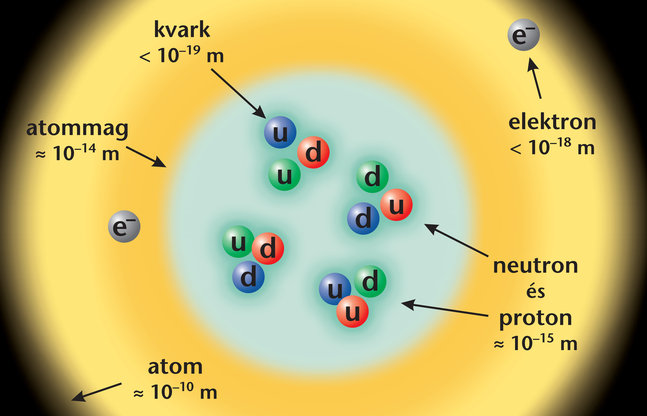
kvarkok (spin = 1/2)		
jel/íz	tömeg GeV/c^2	elektr. töltés
u up	0,003	2/3
d down	0,006	–1/3
c charm	1,3	2/3
s strange	0,1	–1/3
t top	175	2/3
b bottom	4,3	–1/3

leptonok (spin = 1/2)		
jel/íz	tömeg GeV/c^2	elektr. töltés
ν_e elektron neutrínó	$< 10^{-8}$	0
e elektron	0,000511	–1
ν_μ müon neutrínó	< 0,0002	0
μ müon	0,106	–1
ν_τ tau neutrínó	< 0,02	0
τ tau	1,7771	–1

Tömeg: a részecskefizikában az energiát elektronvoltban (eV), a tömeget GeV/c^2 egységekben ($E = mc^2$) mérik. 1 GeV = 10^9 eV = $1{,}60 \cdot 10^{-10}$ J. A proton tömege 0,938 GeV/c^2 = $1{,}67 \cdot 10^{-27}$ kg.

Töltés: az elektromos töltéseket a protontöltés egységében adjuk meg. A proton töltése $1{,}60 \cdot 10^{-19}$ coulomb.

Az atom szerkezete



Ha a protonok és neutronok átmérője 10 cm volna a képen, akkor a kvarkok és elektronok 0,1 mm-nél kisebbek lennének, az atom pedig 10 km átmérőjű lenne!

Bozonok – a kölcsönhatások közvetítői, spinjük: 0, 1, 2 ...

erős – szín (spin = 1)		
jel/név	tömeg GeV/c^2	elektr. töltés
g gluon	0	0

elektrogyenge (spin = 1)		
jel/név	tömeg GeV/c^2	elektr. töltés
γ gamma-foton	0	0
W^- W-bozon	80,39	–1
W^+ W-bozon	80,39	1
Z^0 Z-null bozon	91,187	0

Színtöltés: a kvarkok és gluonok „színtöltést" hordoznak. A kvarkok három-, a gluonok nyolcféle „színűek" lehetnek. Kvarkok és gluonok szabadon nem létezhetnek. Őket a színtöltések között ható alapvető erős kölcsönhatás kétféleképpen kötheti össze színsemleges hadronokba: vagy három kvark alkothat egy bariont, vagy egy kvark–antikvark-pár alkothat egy mezont.

A visszamaradó erős kölcsönhatás a színsemleges nukleonok – vagyis az atommagot alkotó neutronok és protonok – között hat (ez felelős a „magerőkért"), jellegében a Van der Waals-kölcsönhatáshoz hasonlít.

A spin a részecske saját perdülete. A spint $\hbar$ egységekben adjuk meg, ahol $\hbar = h/2\pi = 6{,}58 \cdot 10^{-25}$ GeVs = $1{,}05 \cdot 10^{-34}$ Js.

Fermionikus hadronok

barionok (qqq) és antibarionok ($\bar{q}\bar{q}\bar{q}$) – több száz ismert barion van				
jel/név	kvark-össz.	tömeg GeV/c^2	elektr. töltés	spin
p proton	uud	0,938	1	1/2
$\bar{p}$ anti-proton	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	0,938	–1	1/2
n neutron	udd	0,940	0	1/2
Λ lambda	uds	1,116	0	1/2
Ω^- omega	sss	1,672	–1	3/2

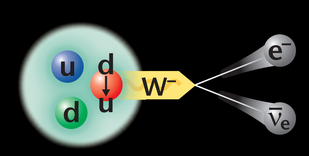
Antianyag: a részecskének általában van „antirészecskéje", amely azonos tulajdonságú, de ellentétes töltésű, mint a részecske. Néhány elektromosan semleges részecske egyben saját antirészecskéje is. Ilyen a Z^0-bozon, a γ-foton, vagy az η_c-mezon, de a K^0-kaon, mely $d\bar{s}$ kvark–antikvark-párból áll, már nem.

Az ábrák a jellemző fizikai folyamatokat csak szemléltetik, hozzájuk értelmes módon skálát rendelni nem lehet. A kékeszöld tartományok a gluonok felhőjét, illetve mezejét, a piros vonalak a kvarkok pályáját mutatják.

A kölcsönhatások tulajdonságai

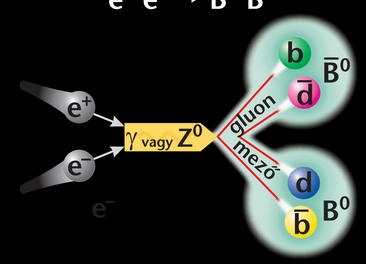
kölcsönhatás / tulajdonság	erős: alapvető	erős: visszamaradó	gyenge (elektrogyenge)	elektromágneses (elektrogyenge)	gravitációs (nem az SM része)
amire hat	színtöltés	lásd magyarázat	íz	elektromos töltés	tömeg, energia, lendület
ezek a részecskék érzik	kvarkok, gluonok	hadronok	kvarkok, leptonok	elektr. töltöttek	minden
közvetítő részecske	gluonok	mezonok	W^-, W^+, Z^0-bozon	γ-foton	graviton (még nem figyelték meg)
relatív erősség két up kvarkra, 10^{-18} m	25	–	0,8	1	10^{-41}
relatív erősség két up kvarkra, $3 \cdot 10^{-17}$ m	60	–	10^{-4}	1	10^{-41}
két proton az atommagban	–	20	10^{-7}	1	10^{-36}

$n \to p\, e^- \bar{\nu}_e$



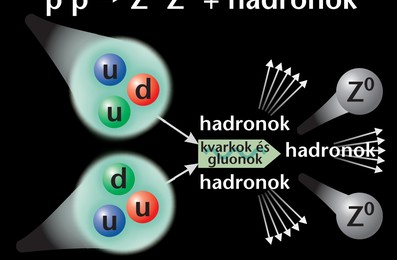
Egy neutron protonra, elektronra és antineutrínóra bomlik egy virtuális W-bozon (gyenge kölcsönhatás) közvetítésével. Ez a béta-bomlás.

$e^+ e^- \to B^0 \bar{B}^0$



Nagy energiájú elektron–pozitron-ütközésben (elektrogyenge kölcsönhatás) B^0–anti-B^0 keltése, γ-foton vagy Z^0-bozon közvetítésével.

$p\, p \to Z^0 Z^0 + \text{hadronok}$



Nagy energiájú, erősen kölcsönható protonok ütközésekor keletkezhetnek hadronok és nehéz részecskék, például Z-bozonok.

Bozonikus hadronok

mezonok ($q\bar{q}$) – több száz ismert mezon van				
jel/név	kvark-össz.	tömeg GeV/c^2	elektr. töltés	spin
π^+ pion	$u\bar{d}$	0,140	1	0
K^- kaon	$s\bar{u}$	0,494	–1	0
ρ^+ ró-mezon	$u\bar{d}$	0,770	1	1
B^0 B-null mezon	$d\bar{b}$	5,279	0	0
η_c eta-c mezon	$c\bar{c}$	2,980	0	0

Az eredeti posztert a **Contemporary Physics Project** (http://CPEPweb.org) készítette. A magyar változat **Kármán Tamás** és **Somogyi Gábor** munkája.

Megjelent a **Fizikai Szemle** mellékleteként, a **Paksi Atomerőmű Zrt.** támogatásával. Letölthető a http://fizikaiszemle.hu honlapról.

Kereskedelmi forgalomba nem hozható, oktatási célra szabadon felhasználható.

mvm paksi atomerőmű

Fizikai Szemle
MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT
az Eötvös Loránd Fizikai Társulat folyóirata