

Εισαγωγή στη Φυσική Στοιχειωδών Σωματιδίων

Δήμος Σαμψωνίδης
(14-12-2016)

Στοιχεία Πυρηνικής Φυσικής & Φυσικής Στοιχειωδών Σωματιδίων
5 ο Εξάμηνο

Φερμιόνια & Μποζόνια

Συμπεριφορά της Κυματοσυνάρτησης δύο
ταυτόσημων σωματίων κάτω από την εναλλαγή τους
στο χώρο

Φερμιόνια, Μποζόνια

Φερμιόνια

- Σωματίδια με ημιακέραιο spin $\left(\frac{1}{2}\hbar, \frac{3}{2}\hbar, \frac{5}{2}\hbar \dots\right)$
- Ακολουθούν στατιστική Fermi-Dirac

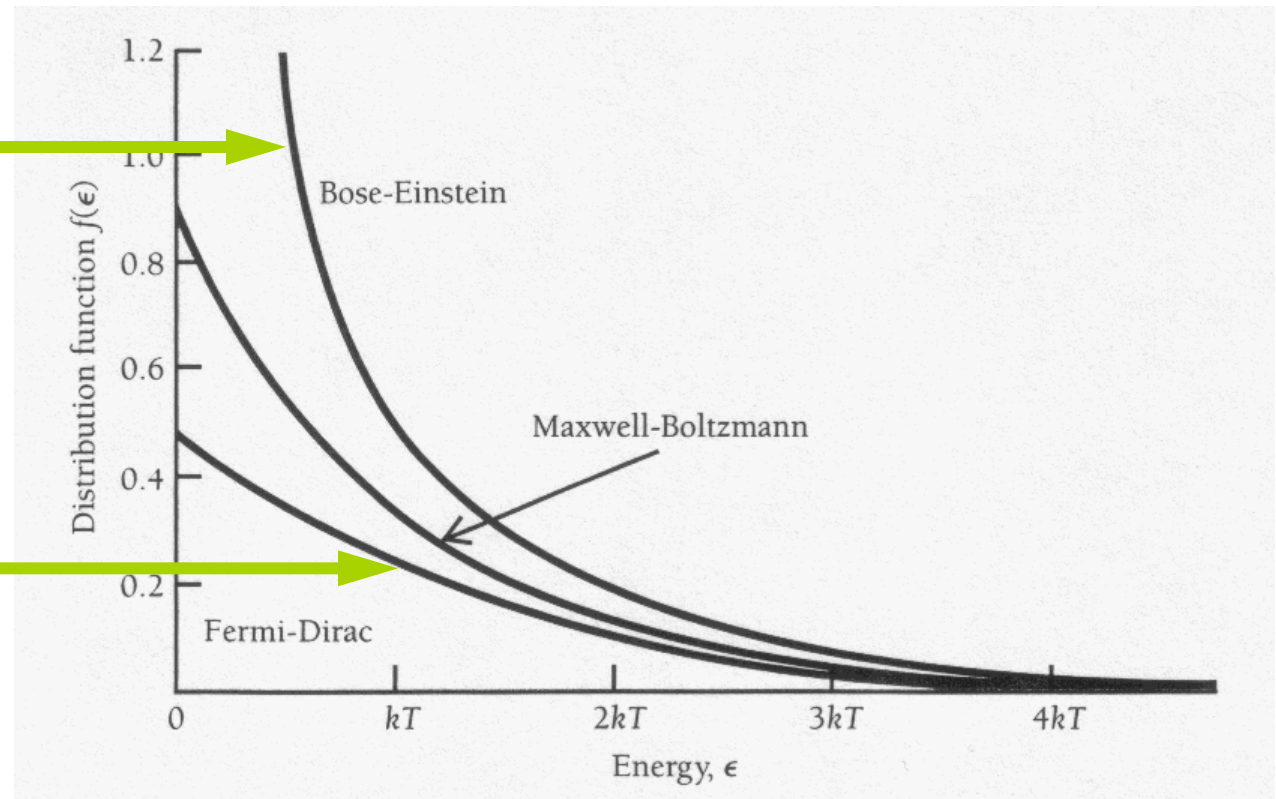
Μποζόνια

- Σωματίδια με ακέραιο spin $(0\hbar, 1\hbar, 2\hbar \dots)$
- Ακολουθούν στατιστική Bose-Einstein

Fermi-Dirac , Bose-Einstein

Bosons “like” to be in the same energy state, so you can cram many of them in together.

Fermions don't “like” to be in the same energy state, so the probability is the least.



Φερμιόνια, Μποζόνια

Η κυματοσυνάρτηση **δύο ταυτόσημων φερμιονίων** κάτω από την εναλλαγή τους στο χώρο:

- Έστω κυματοσυνάρτηση δύο ταυτόσημων σωματίων : $\Psi(1,2)$
- Η πιθανότητα $|\Psi(1,2)|^2 = |\Psi(2,1)|^2$ **ΔΕΝ** μεταβάλλεται αν **εναλλάξουμε** τα δύο σωματία στο χώρο $1 \longleftrightarrow 2$
- $\Psi(1,2) = -\Psi(2,1)$: **αντισυμμετρική** αν **εναλλάξουμε** τα δύο **ταυτόσημα φερμιόνια** στο χώρο

Φερμιόνια, Μποζόνια

Η κυματοσυνάρτηση **δύο ταυτόσημων μποζονίων** κάτω από την εναλλαγή τους στο χώρο:

- Έστω κυματοσυνάρτηση δύο ταυτόσημων σωματίων : $\Psi(1,2)$
- Η πιθανότητα $|\Psi(1,2)|^2 = |\Psi(2,1)|^2$ **ΔΕΝ** μεταβάλλεται αν **εναλλάξουμε** τα δύο σωματία στο χώρο $1 \longleftrightarrow 2$
- $\Psi(1,2) = + \Psi(2,1)$: **συμμετρική** αν **εναλλάξουμε** τα δύο **ταυτόσημα μποζόνια** στο χώρο

Φερμιόνια, Μποζόνια

Η **ολική** κυματοσυνάρτηση ενός ή περισσότερων σωματίων είναι **γινόμενο** των **συναρτήσεων** του **χώρου** και του **σπιν** και... (ισοτοπικό σπίν)

$$\Psi = \Psi_{\alpha}(\text{χώρου}) * \Psi_{\beta}(\text{σπιν})$$

Γενικά ισχύει:

$$\Psi_{\alpha}(\text{χώρου}) = \Psi_{\alpha}(r, \theta, \varphi) = \Psi_{\alpha}(r) * Y^m_l(\theta, \varphi)$$

όπου $Y^m_l(\theta, \varphi)$: σφαιρικές αρμονικές

Αν έχουμε σωματία (1) & (2):

l είναι η σχετική στροφορμή των (1), (2)

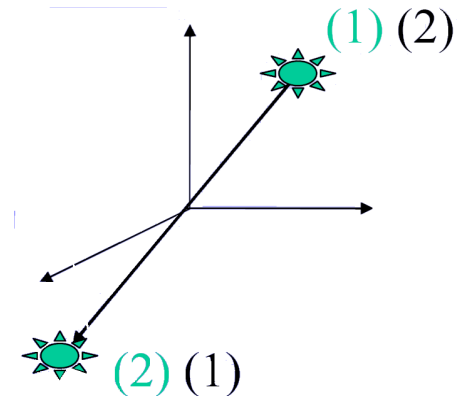
όταν $1 \leftrightarrow 2$: $\theta \rightarrow \pi - \theta$

$\varphi \rightarrow \pi + \varphi$

$$H Y^m_l(\theta, \varphi)(1,2) \rightarrow Y^m_l(\theta, \varphi)(2,1) \equiv Y^m_l(\pi - \theta, \pi + \varphi)(1,2) = (-1)^l Y^m_l(\theta, \varphi)(1,2) \text{ (ισοδυναμεί με αντιστροφή του χώρου)}$$

αν l = άρτιος η $Y^m_l(\theta, \varphi)(1,2)$ συμμετρική στην εναλλαγή (1,2)

αν l = περιττός η $Y^m_l(\theta, \varphi)$ αντισυμμετρική στην εναλλαγή (1,2)



Φερμιόνια, Μποζόνια

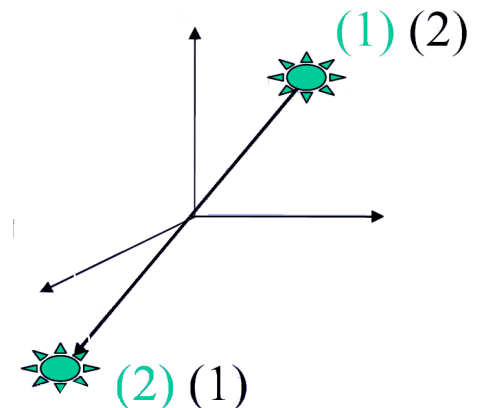
Η κυματοσυνάρτηση του **χώρου** δύο ταυτόσημων σωματίων

$$\Psi_{\alpha} = \Psi_{\alpha}(\text{χώρου})(1,2)$$

Η κυματοσυνάρτηση: $\Psi_{\alpha}(\text{χώρου})(1,2) = \Psi_{\alpha}(r)(1,2) * Y^m_l(\theta, \phi)(1,2)$

- Η $\Psi_{\alpha}(r)(1,2) = \Psi_{\alpha}(r)(2,1)$ (Συμμετρική)
- Η $Y^m_l(\theta, \phi)(2,1) = Y^m_l(\pi-\theta, \pi+\phi)(1,2) = (-1)^l Y^m_l(\theta, \phi)(1,2)$

ΑΡΑ: αν $l =$ **αρτιος** η Y^m_l **συμμετρική**
αν $l =$ **περιττός** η Y^m_l **αντισυμμετρική**



Φερμιόνια, Μποζόνια

Η κυματοσυνάρτηση του **σπιν** δύο ταυτόσημων σωματίων

$$\Psi_{\beta} = \Psi_{\beta}(\text{σπιν})(1,2)$$

Αν σπιν ομοπαράλληλα $\uparrow\uparrow \Psi_{\beta}(\text{σπιν})(1,2) = \Psi_{\beta}(\text{σπιν})(1,2)$ **συμμετρική**

Αν σπιν αντιπαράλληλα $\uparrow\downarrow \Psi_{\beta}(\text{σπιν})(1,2) = -\Psi_{\beta}(\text{σπιν})(1,2)$ **αντισυμμετρική**

$$\Psi = \Psi_{\alpha}(\text{χώρου}) * \Psi_{\beta}(\text{σπιν})$$

⇒ Για ταυτόσημα:

Μποζόνια

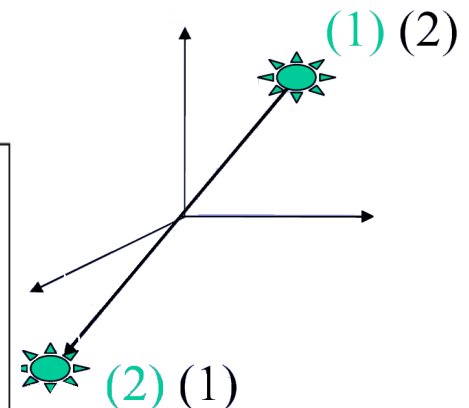
$l = \text{άρτιο} \rightarrow \text{ομοπαράλληλα}$

$l = \text{περιττό} \rightarrow \text{αντιπαράλληλα}$

Φερμιόνια

$l = \text{άρτιο} \rightarrow \text{αντιπαράλληλα}$

$l = \text{περιττό} \rightarrow \text{παράλληλα}$



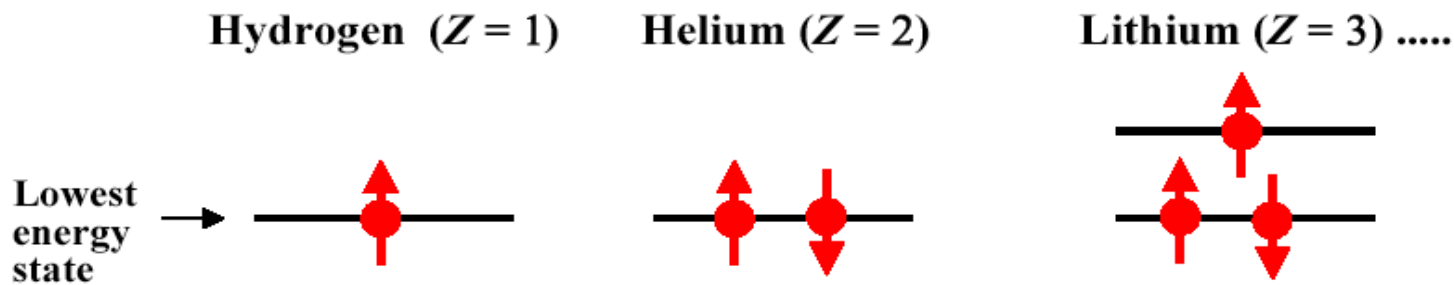
Εφαρμογή της ιδιότητας της συμμετρίας της κυματοσυνάρτησης δύο ταυτόσημων μποζονίων

- Παράδειγμα : η διάσπαση του μεσονίου $\rho^0 \rightarrow 2\pi^0$
- ρ^0 : σπιν = 1, $l=0 \Rightarrow J=1$
- π^0 : σπιν = 0, $l=0 \Rightarrow J=0 \Rightarrow$ **ταυτόσημα μποζόνια**
- J διατηρείται $\Rightarrow I_{\text{σχετ}} [(\pi^0_1) + (\pi^0_2)] = 1 = J(\rho^0) = 1$
- Η $\Psi_{\beta(\text{σπιν})}(1,2)$ **συμμετρική** $\Rightarrow \Psi_{\alpha(\text{χώρου})}(1,2)$ **πρέπει να είναι**
συμμετρική $\Rightarrow$ / **αρτίο** $\Rightarrow J \neq 1 \Rightarrow$ **Μη διατήρηση της ολικής**
στροφορμής
- $\Rightarrow$ Η διάσπαση $\rho^0 \rightarrow 2\pi^0$ **απαγορεύεται**
- Ενώ η διάσπαση $\rho^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \rightarrow$ **μη ταυτόσημα** σωμάτια **επιτρέπεται**

Η απαγορευτική αρχή του Pauli

- Στην Κβαντομηχανική οι τροχιές του ηλεκτρονίου γύρω από τον πυρήνα είναι 'κβαντισμένες' Μόνον ορισμένες τροχιές (που χαρακτηρίζονται με ακέραιους κβαντικούς αριθμούς) είναι επιτρεπτές.
- Σε άτομα με $Z > 2$ μόνο δύο ηλεκτρόνια υπάρχουν στην 'βαθύτερη' στιβάδα.

ANSWER (Pauli, 1925): two electrons (spin = $\frac{1}{2}$) can never be in the same physical state



Wolfgang Pauli

Η απαγορευτική αρχή του Pauli ισχύει για **όλα** τα σωματίδια με **ημιακέραιο spin: Φερμιόνια**

Σωματία & Αντισωματία
Κουάρκ & Λεπτόνια
Αδρόνια &
Διατήρηση κβαντικών αριθμών

Αντισωματία

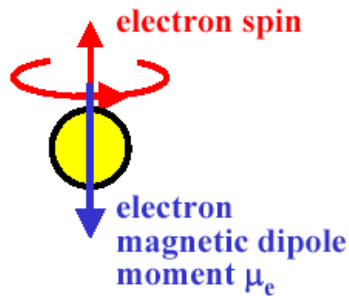
- Η ύπαρξη των αντισωματίων προτάθηκε από τον P.A.M. Dirac (1928)
- Η εξίσωση Dirac: Σχετικιστική Κυματική εξίσωση για το ηλεκτρόνιο που συμπεριλάμβανε και το σπιν
- Η λύση της: κυματοσυνάρτηση με 4-συνιστώσες (Dirac field)



P.A.M. Dirac

$$(i\hbar\gamma_\mu\partial^\mu - m)\psi = 0$$

- Δύο οι προβλέψεις της εξίσωσης Dirac:
 - Ύπαρξη εσωτερικής μαγνητικής διπολικής ροπής του ηλεκτρονίου με κατεύθυνση αντίθετη του spin



$$\mu_e = \frac{e\hbar}{2m_e} \approx 5.79 \times 10^{-5} [\text{eV/T}]$$

- Για κάθε λύση της εξίσωσης για ηλεκτρόνιο με $E > 0$ υπάρχει μια ακόμη λύση με $E < 0$
Ποιά είναι η φυσική ερμηνεία των λύσεων “αρνητικής ενέργειας”?

Αντισωματία

Η γενικευμένη λύση της εξίσωσης Dirac: μιγαδική κυματοσυνάρτηση $\Psi(\mathbf{r},t)$. Παρουσία ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, για κάθε λύση “αρνητικής ενέργειας” η συζυγής μιγαδική κυματοσυνάρτηση Ψ^* είναι η λύση “θετικής ενέργειας” στην εξίσωση Dirac, για ένα ‘ηλεκτρόνιο’ με θετικό φορτίο

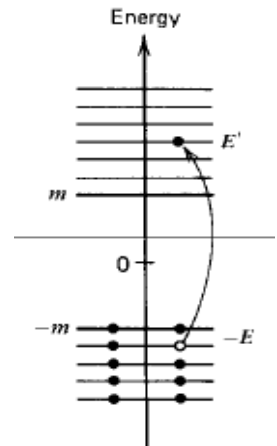


P.A.M. Dirac

Οι υποθέσεις του Dirac :

- Οι μεταπτώσεις ηλεκτρονίων από στάθμη με θετική ενέργεια σε κατειλημμένη στάθμη αρνητικής ενέργειας απαγορεύεται από την αρχή του Pauli
- Μεταπτώσεις ηλεκτρονίων από θετική ενέργεια σε κενή αρνητική στάθμη είναι επιτρεπτές => εξαφάνιση του ηλεκτρονίου. Για να διατηρηθεί το φορτίο ένα θετικό ηλεκτρόνιο πρέπει να εξαφανιστεί => e^+e^- εξαύλωση
- Μεταπτώσεις ηλεκτρονίων από αρνητική ενέργεια σε κενή θετική στάθμη είναι επιτρεπτές => εμφάνιση του ηλεκτρονίου. Για να διατηρηθεί το φορτίο ένα θετικό ηλεκτρόνιο πρέπει να εμφανιστεί=> δημιουργία ζεύγους e^+e^-

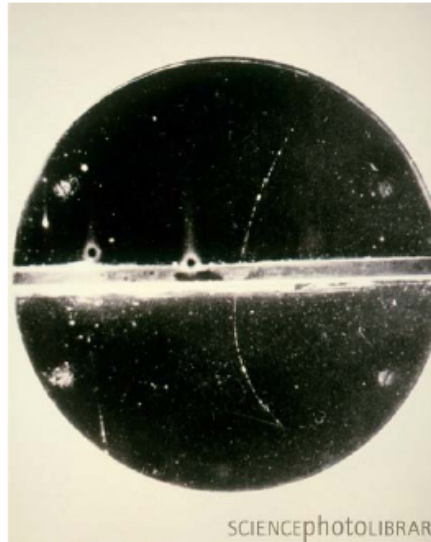
=> κενή αρνητική ενέργεια ηλεκτρονίου περιγράφει θετική ενέργεια ποζιτρονίου



Το τελειο κενό του Dirac είναι η περιοχή που όλες οι θετικής ενέργειας στάθμες είναι κενές και όλες οι αρνητικής κατειλημμένες

Σωματρία & Αντισωματρία

- Οι καταστάσεις αρνητικής ενέργειας στην εξίσωση Dirac για το ηλεκτρόνιο ερμηνεύονται σαν καταστάσεις ενός **αντισωματίου** του **ποζιτρονίου**



- Το **ποζιτρόνιο** παρατηρήθηκε από τον Anderson το 1932 στην κοσμική ακτινοβολία σε πείραμα με θάλαμο φυσαλίδων

Σωματρία & Αντισωματρία

Πρώτη πειραματική
παρατήρηση Ποζιτρονίου-
Αντιύλης 1932

direction of
high-energy photon

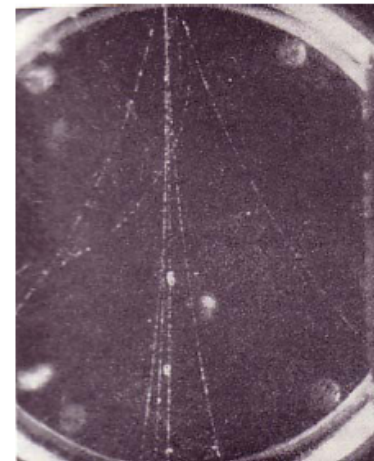
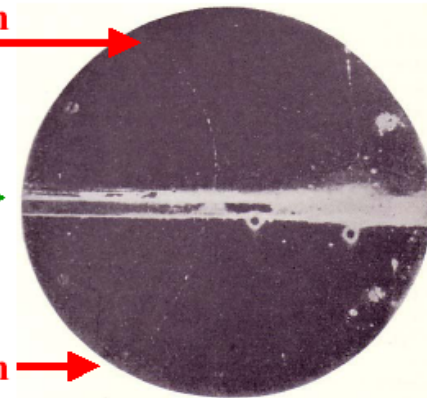


Production of an
electron-positron pair
by a high-energy photon
in a Pb plate

6 mm thick Pb plate

23 MeV positron

63 MeV positron



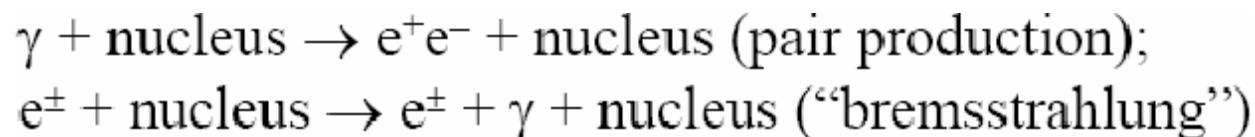
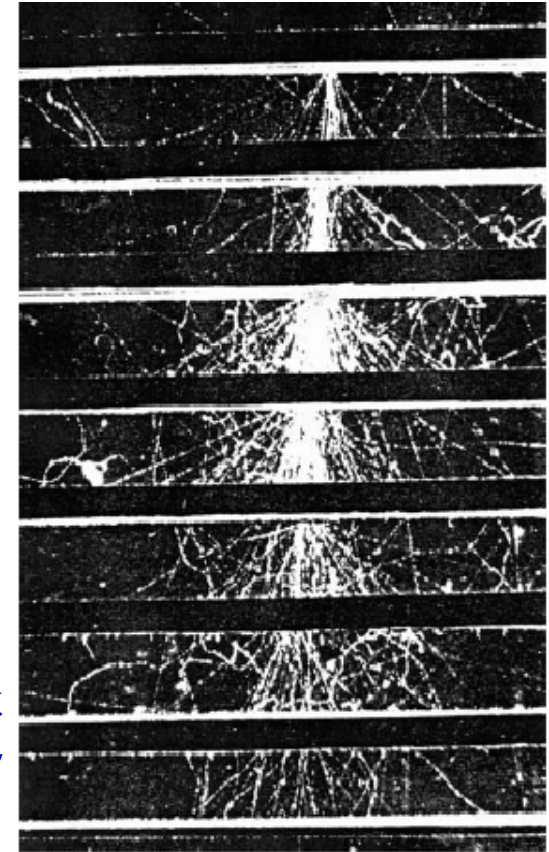
Cosmic-ray "shower"
containing several $e^+ e^-$ pairs

Σωματρία & Αντισωματρία

Πειραματική παρατήρηση Ποζιτρονίων (αντιϋλης) στους ηλεκτρομαγνητικούς καταιγισμούς

Ηλεκτρομαγνητικοί καταιγισμοί προερχόμενοι κυρίως από φωτόνια ή ηλεκτρόνια/ποζιτρόνια της κοσμικής ακτινοβολίας

- Εικόνα καταιγισμού σε θάλαμο φυσαλίδων



Σωματρία & Αντισωματρία

Γενικευμένη Ιδιότητα φερμιονίων & μποζονίων:

Σε κάθε σωματρία αντιστοιχεί ένα αντισωματρία, το οποίο έχει:

- **ίδια μάζα** με το σωματρία,
- **ίδιο σπιν** με το σωματρία,
- **αντίθετο φορτίο** και επομένως
- **αντίθετη μαγνητική ροπή**.

Φερμιόνιο	⦿	Φερμιονικός Αριθμός +1
Αντιφερμιόνιο	⦿	Φερμιονικός Αριθμός -1

Φερμιόνια και αντιφερμιόνια δημιουργούνται και καταστρέφονται σε ζεύγη

Ο Φερμιονικός Αριθμός διατηρείται!

$$\begin{array}{lcl} \gamma & \rightarrow & e^+ + e^- \\ 0 & \rightarrow & (-1) + (+1) \end{array}$$

Για τα μποζόνια δεν υπάρχει αντίστοιχος νόμος διατήρησης.

Τα Θεμελιώδη Φερμιόνια απο τα οποία αποτελείται η Ύλη: Κουάρκ & Λεπτόνια

Πειραματική μαρτυρία ύπαρξης δύο ειδών θεμελιωδών φερμιονίων, χωρίς δομή και με διάσταση μικρότερη του 10^{-18} m (mfm):

Κουάρκ και Λεπτόνια

Κουάρκ

- Κλασματικά ηλεκτρικά φορτία $\{ +2/3|e|, -1/3|e| \}$
- Ποικιλία από 6 συνολικά γεύσεις $\{u, d, s, c, b, t\}$
- Υπόκεινται σε ισχυρές αλληλεπιδράσεις
- Σε κάθε κουάρκ αντιστοιχεί ένα αντικουάρκ με αντίθετο φορτίο

Λεπτόνια

- Τρία ζεύγη λεπτονίων $\{e, \nu_e\} \{\mu, \nu_\mu\} \{\tau, \nu_\tau\}$ με φορτία $\{0, \pm|e| \}$
- Τα ουδέτερα λεπτόνια ονομάζονται νετρίνα
- Συμμετέχουν σε ηλεκτρομαγνητικές & ασθενείς αλληλεπιδράσεις
- Σε κάθε λεπτόνιο αντιστοιχεί ένα αντιλεπτόνιο με αντίθετο φορτίο

Τα Θεμελιώδη Φερμιόνια απο τα οποία αποτελείται η Ύλη: Κουάρκ & Λεπτόνια

Οι τρεις γενιές των Θεμελιωδών
συστατικών:

**Κουάρκ και Λεπτόνια(σωματΙΑ
Ύλης: φερμιόνια)**

και

οι διαδότες των Θεμελιωδών
δυνάμεων:

**Θεμελιώδη Μποζόνια
(σωματΙΑ Δυνάμεων)**

Quarks	2.4 MeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ u up	1.27 GeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ c charm	171.2 GeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ t top	0 0 1 γ photon
	4.8 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ d down	104 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ s strange	4.2 GeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ b bottom	0 0 1 g gluon
	<2.2 eV 0 $\frac{1}{2}$ ν_e electron neutrino	<0.17 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_μ muon neutrino	<15.5 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_τ tau neutrino	91.2 GeV 0 1 Z⁰ weak force
Leptons	0.511 MeV -1 $\frac{1}{2}$ e electron	105.7 MeV -1 $\frac{1}{2}$ μ muon	1.777 GeV -1 $\frac{1}{2}$ τ tau	80.4 GeV ± 1 1 W[±] weak force
				Bosons (Forces)

Θεμελιώδη Φερμιόνια: Κουάρκ & Λεπτόνια

FERMIONS

matter constituents
spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...

Leptons spin = 1/2

Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge
ν_L lightest neutrino*	$(0-0.13)\times 10^{-9}$	0
e electron	0.000511	-1
ν_M middle neutrino*	$(0.009-0.13)\times 10^{-9}$	0
μ muon	0.106	-1
ν_H heaviest neutrino*	$(0.04-0.14)\times 10^{-9}$	0
τ tau	1.777	-1

Quarks spin = 1/2

Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge
u up	0.002	2/3
d down	0.005	-1/3
c charm	1.3	2/3
s strange	0.1	-1/3
t top	173	2/3
b bottom	4.2	-1/3

Τα Θεμελιώδη Μποζόνια των αλληλεπιδράσεων Οι Θεμελιώδεις Αλληλεπιδράσεις

Properties of the Interactions

The strengths of the interactions (forces) are shown relative to the strength of the electromagnetic force for two u quarks separated by the specified distances.

Property	Gravitational Interaction	Weak Interaction (Electroweak)	Electromagnetic Interaction	Strong Interaction
Acts on:	Mass – Energy	Flavor	Electric Charge	Color Charge
Particles experiencing:	All	Quarks, Leptons	Electrically Charged	Quarks, Gluons
Particles mediating:	Graviton (not yet observed)	W^+ W^- Z^0	γ	Gluons
Strength at $\left\{ \begin{array}{l} 10^{-18} \text{ m} \\ 3 \times 10^{-17} \text{ m} \end{array} \right.$	10^{-41}	0.8	1	25
	10^{-41}	10^{-4}	1	60

Τα Θεμελιώδη Μποζόνια των αλληλεπιδράσεων Οι Θεμελιώδεις Αλληλεπιδράσεις

BOSONS

force carriers
spin = 0, 1, 2, ...

Unified Electroweak spin = 1

Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
γ photon	0	0
W^-	80.4	-1
W^+	80.4	+1
Z^0	91.187	0

Strong (color) spin = 1

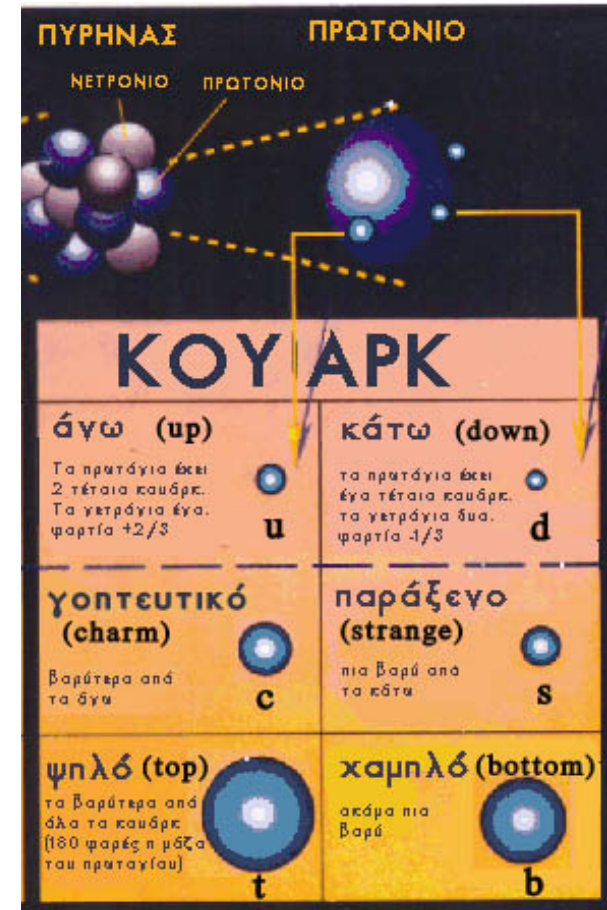
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
g gluon	0	0

Θεμελιώδη Φερμιόνια: Κουάρκ

Τα κουάρκ

Για κάθε κουάρκ υπάρχει
το αντικουάρκ του

- 1η οικογένεια →
- 2η οικογένεια →
- 3η οικογένεια →



Θεμελιώδη Φερμιόνια: Κουάρκ

Κβαντικοί Αριθμοί

Κάθε γεύση αντιστοιχεί σε ένα κβαντικό αριθμό

- Παραξενιά
(strangeness) $S = -1$
- Χάρη
(charm) $C = +1$
- Ομορφιά
(beauty) $B = -1$
- Κορυφαίο
(top) $T = +1$

	S	C	B	T
d	0	0	0	0
u	0	0	0	0
s	-1	0	0	0
c	0	1	0	0
b	0	0	-1	0
t	0	0	0	1

Αδρόνια: Μεσόνια & Βαρυόνια

Δύο τύποι σχηματισμών των κουάρκ

Βαρυόνια

συνδυασμός 3 κουάρκ

$q\ q\ q$

πρωτόνιο $p = (u\ u\ d)$

νετρόνιο $n = (u\ d\ d)$

Λάμδα $\Lambda = (u\ d\ s)$

Μεσόνια

συνδυασμός κουάρκ-αντικουάρκ

$q\ \bar{q}$

πιόνιο $\pi^+ = (u\ \bar{d})$

K^0 καόνιο $= (s\ \bar{d})$

J/Ψ-μεσόνιο $= (c\ \bar{c})$

Αδρόνια: Βαρυόνια

Baryons qqq and Antibaryons $\bar{q}\bar{q}\bar{q}$

Baryons are fermionic hadrons.

These are a few of the many types of baryons.

Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c^2	Spin
p	proton	uud	1	0.938	1/2
$\bar{p}$	antiproton	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	-1	0.938	1/2
n	neutron	udd	0	0.940	1/2
Λ	lambda	uds	0	1.116	1/2
Ω^-	omega	sss	-1	1.672	3/2

Αδρόνια: Μεσόνια

Mesons $q\bar{q}$

Mesons are bosonic hadrons

These are a few of the many types of mesons.

Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass GeV/c^2	Spin
π^+	pion	$u\bar{d}$	+1	0.140	0
K^-	kaon	$s\bar{u}$	-1	0.494	0
ρ^+	rho	$u\bar{d}$	+1	0.776	1
B^0	B-zero	$d\bar{b}$	0	5.279	0
η_c	eta-c	$c\bar{c}$	0	2.980	0

Αδρόνια: Βαρυόνια

Βαρυονικός Αριθμός: B

Δηλώνει το πλήθος των βαρυονίων σε μία αλληλεπίδραση

Οποιοδήποτε βαρυόνιο έχει $B = +1$

Οποιοδήποτε αντι-βαρυόνιο έχει $B = -1$

Κανόνας Διατήρησης:

Ο Βαρυονικός Αριθμός διατηρείται σε **ΟΛΕΣ** τις αλληλεπιδράσεις

Παράδειγμα:

$$\pi^- + p \rightarrow K^0 + \Lambda$$

Anti-ud uud anti-sd usd

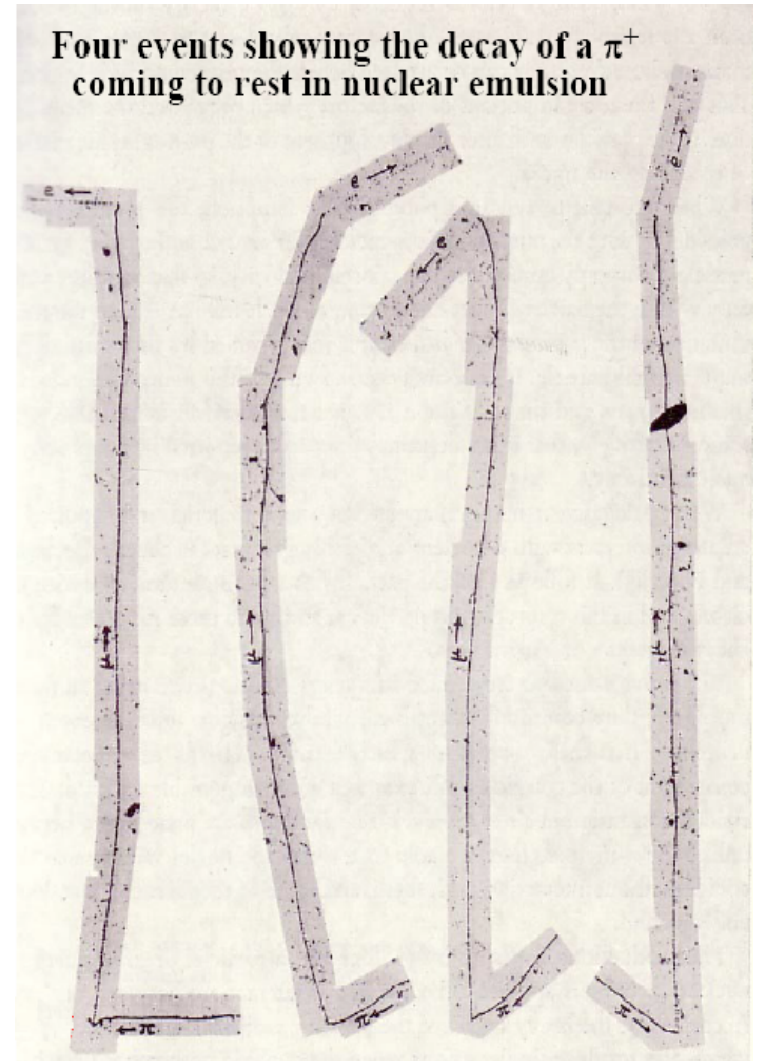
$$B = 0 + 1 \rightarrow 0 + 1 \text{ διατηρείται}$$

Αδρόνια: Μεσόνια

- **Ασταθή** => δεν υπάρχουν στην 'κανονική' ύλη
- Στην ανακάλυψή τους οφείλεται η γένεση της Σωματιδιακής Φυσικής
- π-μεσόνιο και το καόνιο παρατηρήθηκαν στην κοσμική ακτινοβολία το 1947!
- Παράδειγμα της ανακάλυψης του φορτισμένου πιονίου: $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \rightarrow e^+$

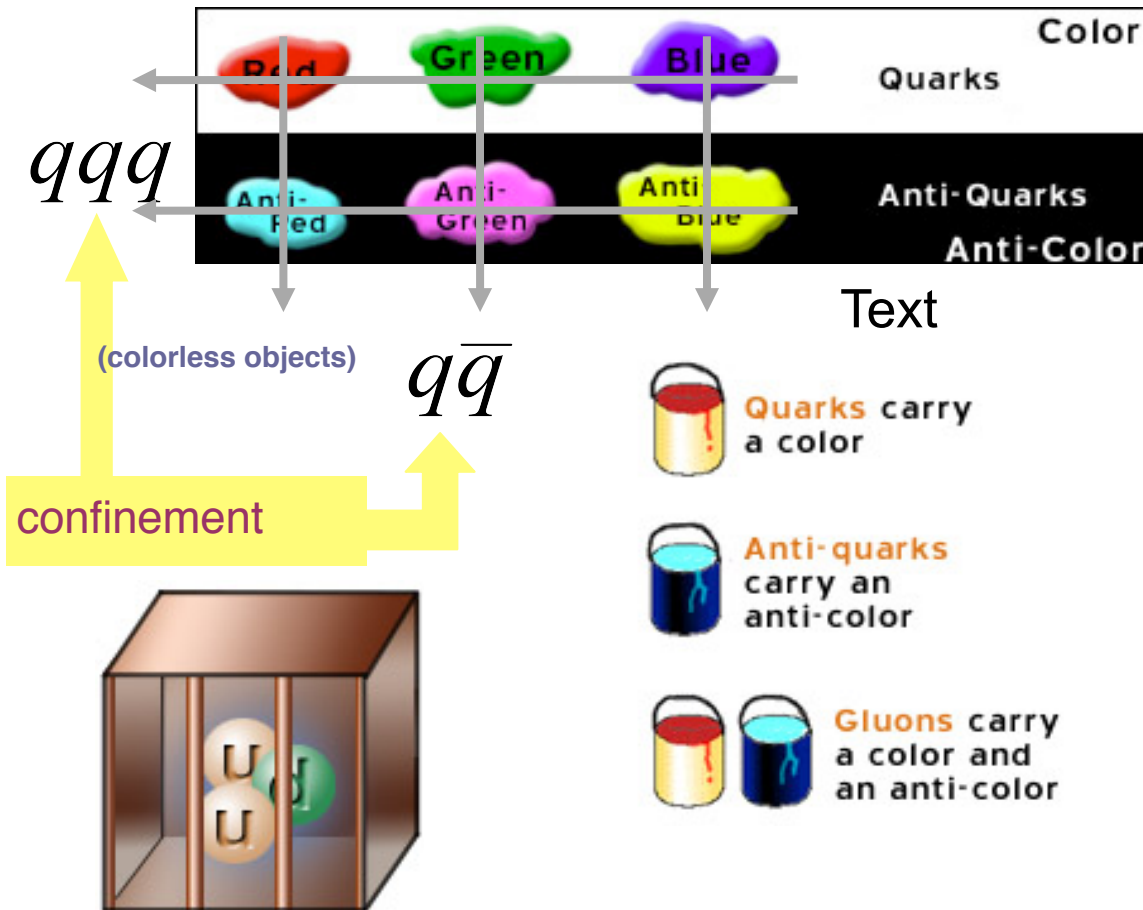
Αδρόνια: Μεσόνια

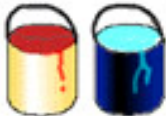
- 1947: Ανακάλυψη του π-μεσονίου (το 'πραγματικό' σωματίδιο Yukawa)
- Παρατήρηση της αλυσιδωτής διάσπασης του :
 $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \rightarrow e^+$
σε γαλακτώματα εκτεθειμένα στην κοσμική ακτινοβολία

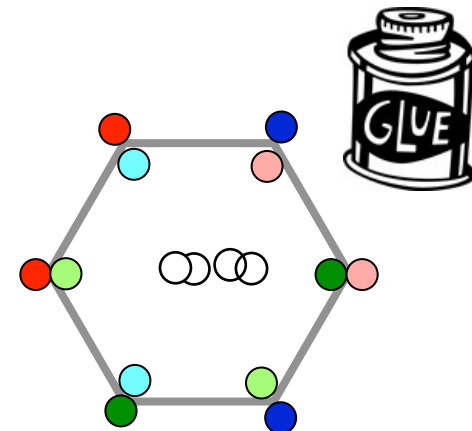


Αδρόνια: Βαρυόνια & Μεσόνια

Η ιδιότητα του Χρώματος

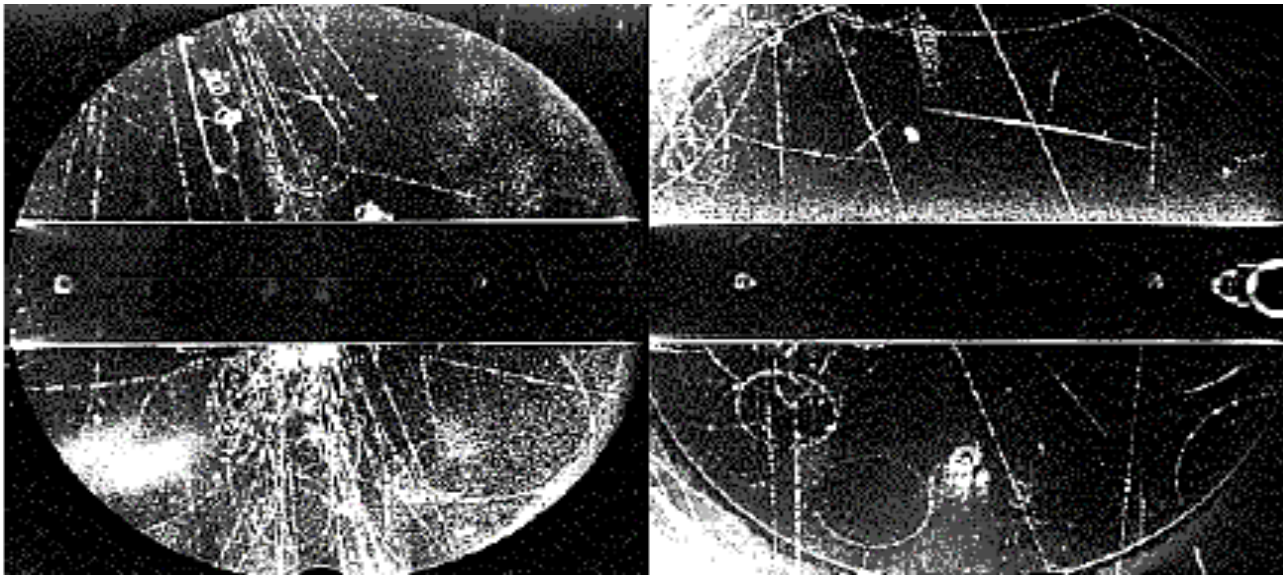


-  Quarks carry a color
-  Anti-quarks carry an anti-color
-  Gluons carry a color and an anti-color



8 Gluons, each with a color and an anti-color charge.

Παράδοξα/Παράξενα Αδρόνια

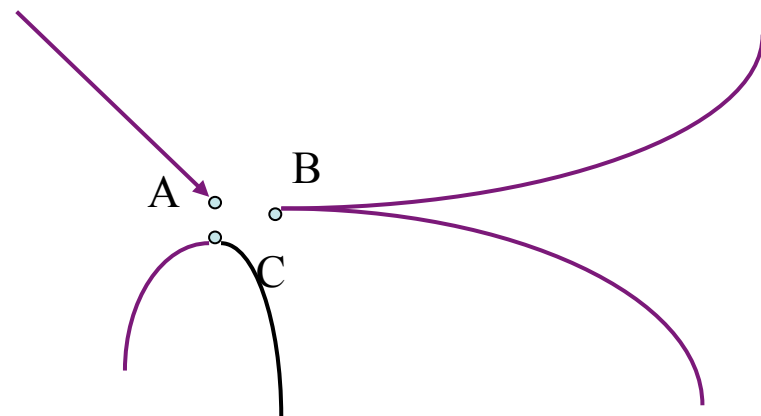


$$\pi^-(A) + p \rightarrow K^0(B) + \Lambda(C)$$

$$K^0 \rightarrow \pi^- + \pi^+$$

$$\Lambda \rightarrow p + \pi^-$$

- Παράγονται σε ζεύγη : s **anti-s**
- Παράδειγμα : $\pi^- + p \rightarrow K^0 + \Lambda$
 anti-u d uud **anti-s** d **usd**



Παράδοξα/Παράξενα Αδρόνια

- Παράδειγμα παραγωγής ζεύγους παράξενων σωματίων

Αντίδραση:

$$\pi^- + p \rightarrow K^0 + \Lambda$$

Περιγραφή με κουάρκ:

$$\bar{u}d + uud \rightarrow \bar{s}d + usd$$

Παραξενιά:

$$0 + 0 = +1 - 1$$

- Διατήρηση Παραξενιάς!

Σύνοψη: Κουάρκ

Κβαντικοί Αριθμοί

των κουάρκ

και

των αντικουάρκ

	B	Q	S	C	B	T
u	+1/3	+2/3	0	0	0	0
d	+1/3	-1/3	0	0	0	0
s	+1/3	-1/3	-1	0	0	0
c	+1/3	+2/3	0	+1	0	0
b	+1/3	-1/3	0	0	-1	0
t	+1/3	+2/3	0	0	0	+1

	B	Q	S	C	B	T
$\overline{\mathbf{u}}$	-1/3	-2/3	0	0	0	0
$\overline{\mathbf{d}}$	-1/3	+1/3	0	0	0	0
$\overline{\mathbf{s}}$	-1/3	+1/3	+1	0	0	0
$\overline{\mathbf{c}}$	-1/3	-2/3	0	-1	0	0
$\overline{\mathbf{b}}$	-1/3	+1/3	0	0	+1	0
$\overline{\mathbf{t}}$	-1/3	-2/3	0	0	0	-1

Παράδειγμα παραγωγής ζεύγους παράξενων σωματίων

Αντίδραση:

$$\pi^{-} + p \rightarrow K^0 + \Lambda$$

Βαρυονικός Αριθμός:

$$0 + 1 = 0 + 1$$

Περιγραφή με κουάρκ:

$$\bar{u}d + uud \rightarrow \bar{s}d + usd$$

Βαρυονικός Αριθμός:

$$\left(-\frac{1}{3} + \frac{1}{3}\right) + \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3}\right) = \left(-\frac{1}{3} + \frac{1}{3}\right) + \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3}\right)$$

Παραξενιά:

$$0 + 0 = +1 - 1$$

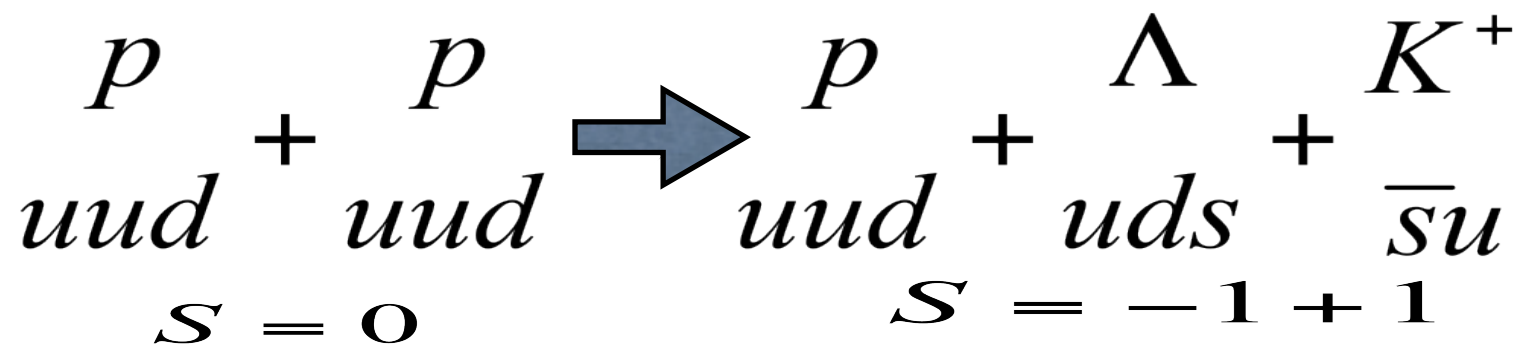
Σύνοψη: Κουάρκ

Διατήρηση του συνολικού αριθμού των κουάρκ

- Ο συνολικός αριθμός των κουάρκ **ΔΙΑΤΗΡΕΙΤΑΙ** σε όλες τις αλληλεπιδράσεις : Ισχυρές, ηλεκτρομαγνητικές, ασθενείς
- Ο αριθμός των κουάρκ συγκεκριμένης γεύσης διατηρείται **ΜΟΝΟ** στις ισχυρές και στις ηλεκτρομαγνητικές αλληλεπιδράσεις
- Στις ασθενείς αλληλεπιδράσεις η γεύση των κουάρκ μπορεί να μεταβάλλεται $\Delta S=1$, $\Delta C=1$, ...

Παραδείγματα διατήρησης των κβαντικών αριθμών των κουάρκ

Παραγωγή παράδοξων σωματιδίων (ισχυρές)



Παραγωγή charm

