

Στοιχειώδη Σωματίδια

Διάλεξη 21η
Πετρίδου Χαρά

Τμήμα Τ3: Χ. Πετρίδου

Κουάρκ & Λεπτόνια
Αδρόνια &
Διατήρηση κβαντικών αριθμών

14/12/2017

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

3

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

4

Οι τρεις γενιές των
Θεμελιωδών συστατικών:

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

και

οι διαδότες των Θεμελιωδών
δυνάμεων:

**Θεμελιώδη Μποζόνια
(σωμάτια 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
Leptons	<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 0 1 Z weak force
	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)

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

6

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

7

BOSONS

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

Unified Electroweak spin = 1

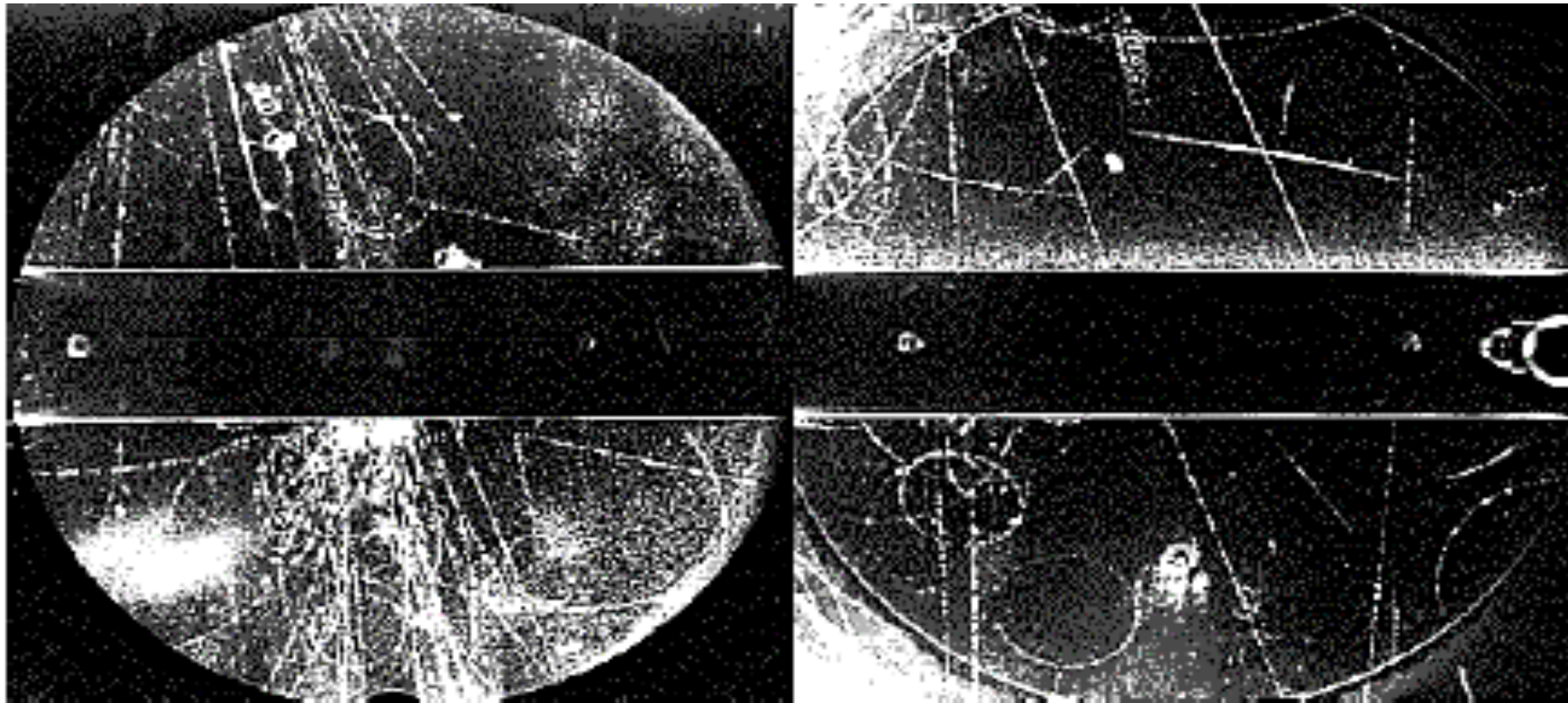
Name	Mass GeV/c ²	Electric charge
γ photon	0	0
W^-	80.4	-1
W^+	80.4	+1
Z^0	91.187	0

Strong (color) spin = 1

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

Παράδοξα/Παράξενα Αδρόνια

8

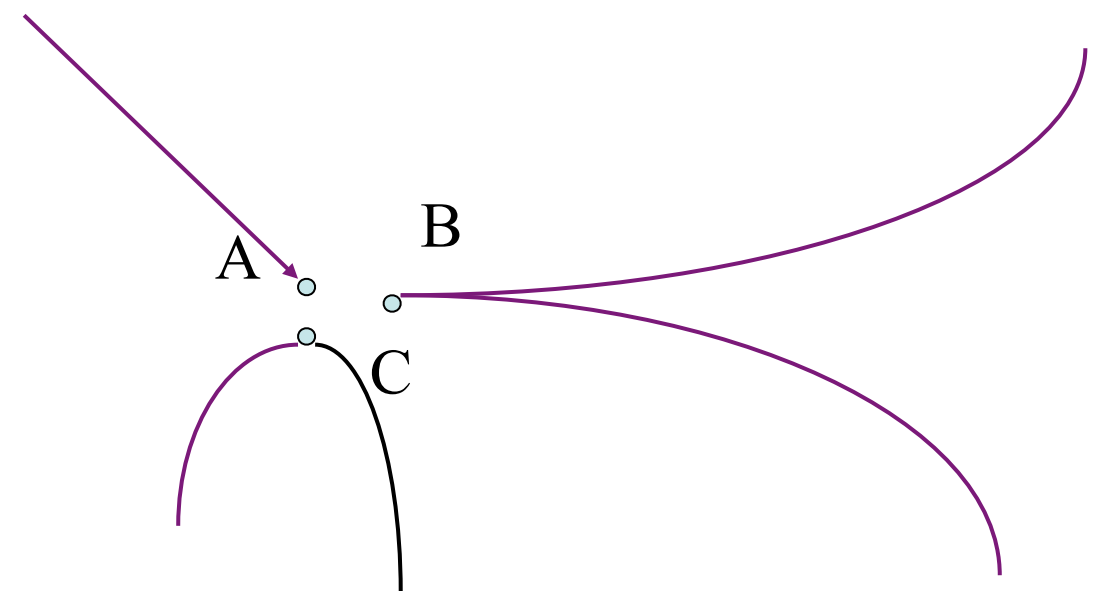


$$\pi^-(A) + p \rightarrow K^0(B) + \Lambda(C)$$

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

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

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



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 $= (\bar{s} \ d)$

J/Ψ-μεσόνιο $= (c \ \bar{c})$

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

Mesons $q\bar{q}$

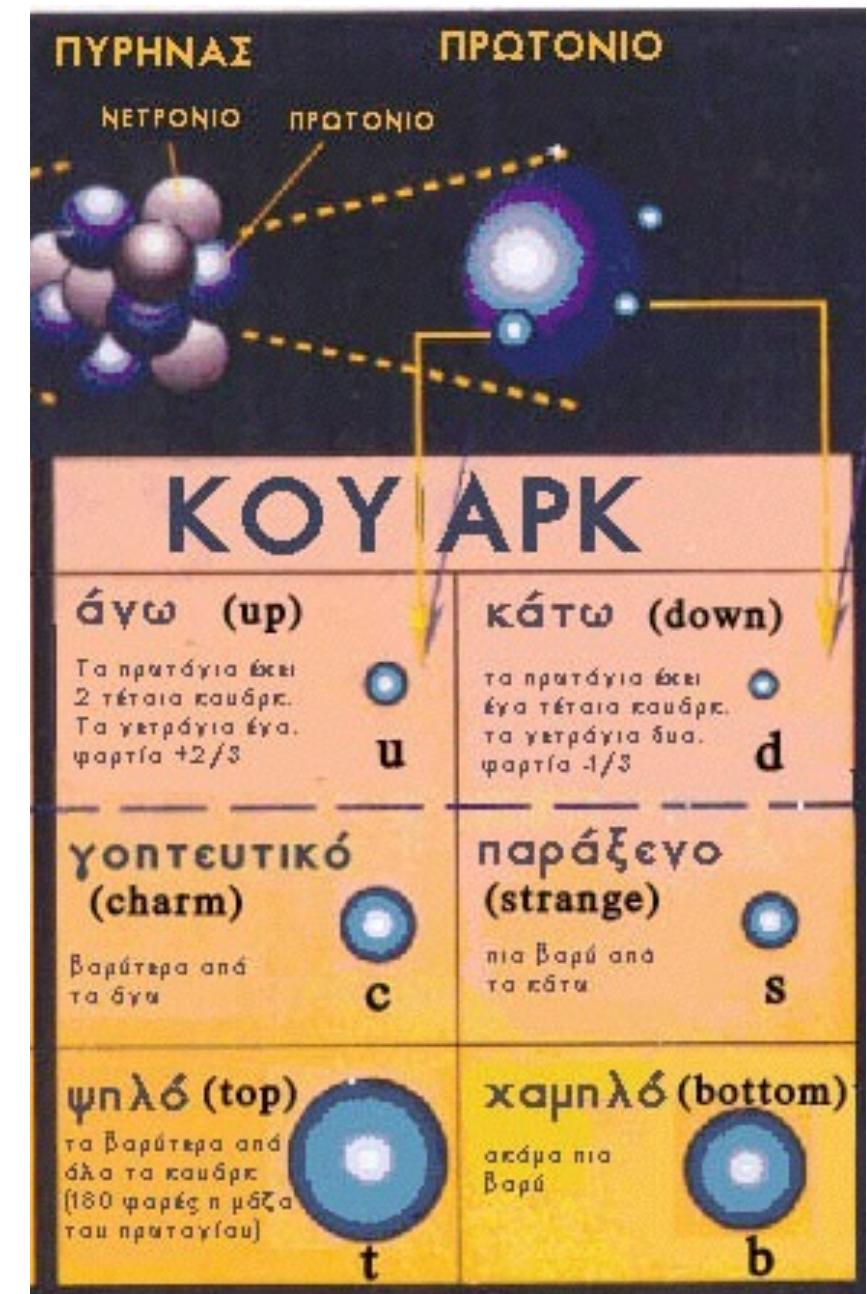
Mesons are bosonic hadrons

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

Τα κουάρκ
Για κάθε κουάρκ
υπάρχει το
αντικουάρκ του

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



Κβαντικοί Αριθμοί

Κάθε γεύση αντιστοιχεί σε ένα κβαντικό αριθμό

- Παραξενιά
(strangeness) $S = -1$
- Χάρη/γοητεία
(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

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

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

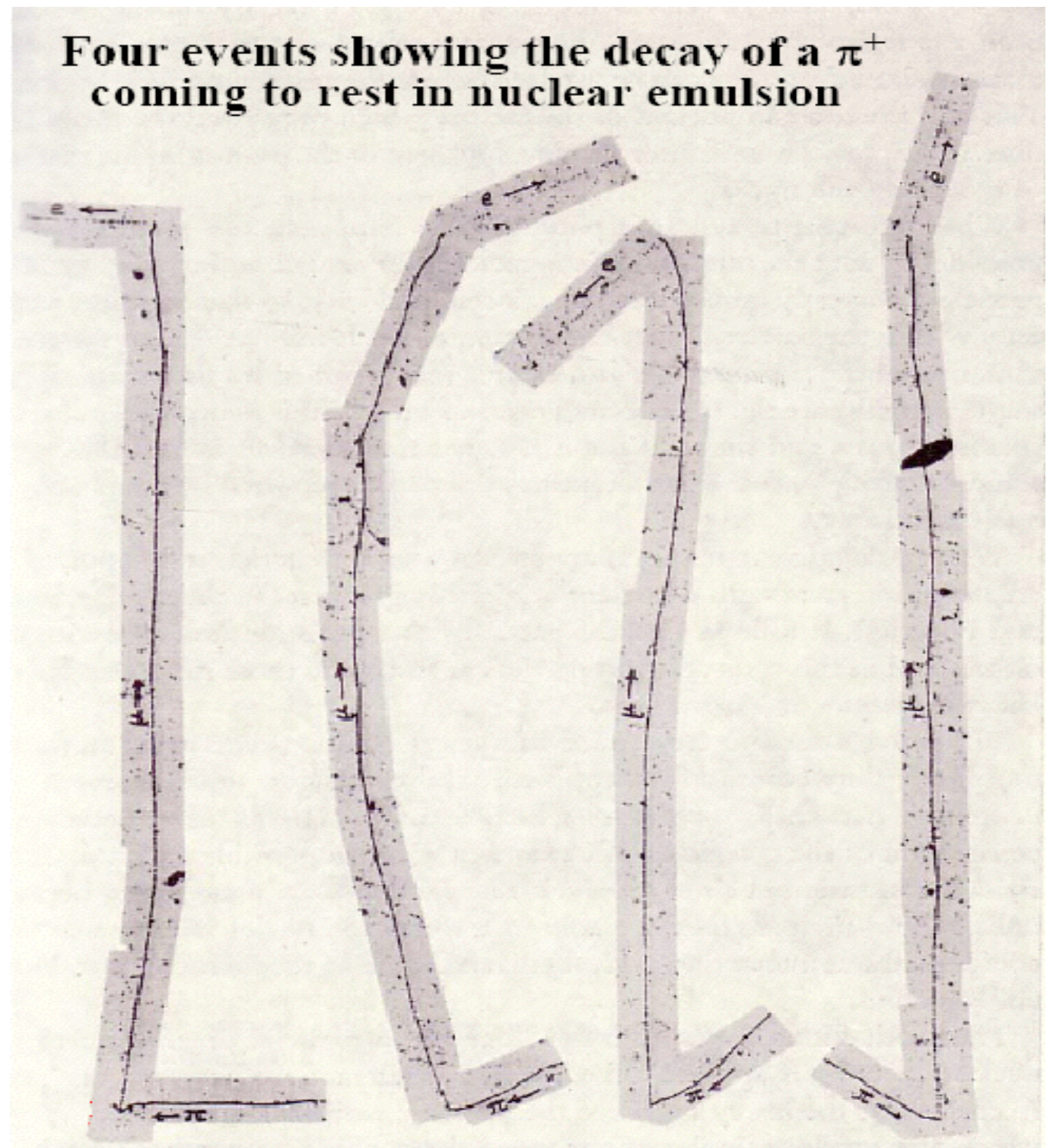
- **Ασταθή** => δεν υπάρχουν στην 'κανονική' ύλη
- Στην ανακάλυψή τους οφείλεται η γένεση της Σωματιδιακής Φυσικής
- π-μεσόνιο και το καόνιο παρατηρήθηκαν στην κοσμική ακτινοβολία το 1947!
- Παράδειγμα της ανακάλυψης του φορτισμένου πιονίου:
 $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \rightarrow e^+$

- 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



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!

Κουάρκ: Παράδειγμα αλληλεπίδρασης

Παράδειγμα παραγωγής ζεύγους παράξενων σωματίων

Αντίδραση:

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

Βαρυονικός Αριθμός:

$$0 + 1 = 0 + 1$$

Περιγραφή με κουάρκ:

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

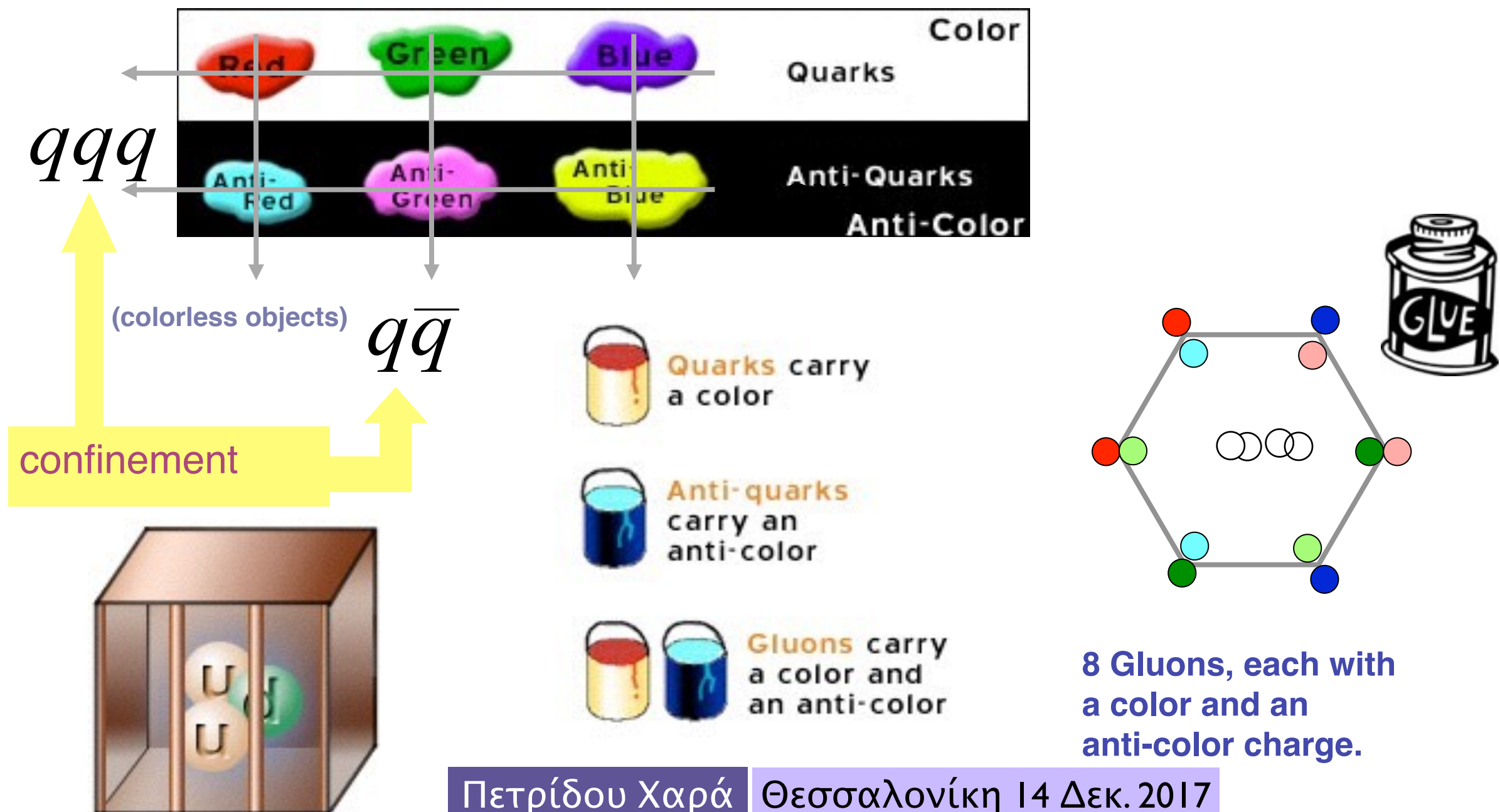
Βαρυονικός Αριθμός:

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

Παραξενιά:

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

Η ιδιότητα του Χρώματος



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
$\bar{\mathbf{u}}$	-1/3	-2/3	0	0	0	0
$\bar{\mathbf{d}}$	-1/3	+1/3	0	0	0	0
$\bar{\mathbf{s}}$	-1/3	+1/3	+1	0	0	0
$\bar{\mathbf{c}}$	-1/3	-2/3	0	-1	0	0
$\bar{\mathbf{b}}$	-1/3	+1/3	0	0	+1	0
$\bar{\mathbf{t}}$	-1/3	-2/3	0	0	0	-1

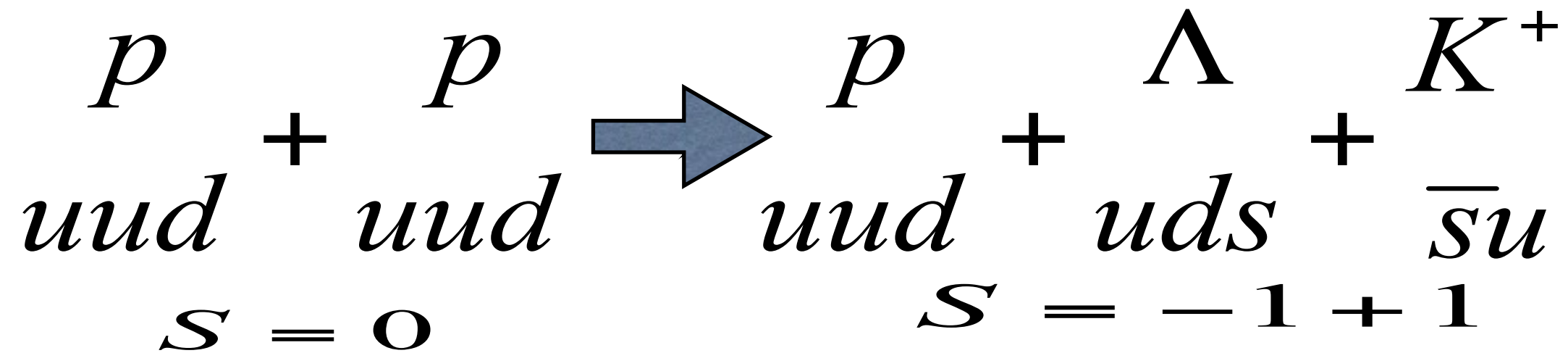
Διατήρηση του συνολικού αριθμού των κουάρκ

- 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 $\Delta S=1, \Delta C=1, \dots$

Παραδείγματα διατήρησης των κβαντικών αριθμών των κουάρκ

22

Παραγωγή παράδοξων σωματιδίων (ισχυρές)



Παραγωγή charm (weak)

