

Στοιχειώδη Σωματίδια

Μάθημα ΙΙο
Πετρίδου Χαρά

Τμήμα G3: Χ. Πετρίδου

Κουάρκ & Λεπτόνια
Αδρόνια &
Διατήρηση κβαντικών αριθμών

13/12/2018

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



- Δεν έχουν Ισχυρές Αλληλεπιδράσεις
- Spin 1/2
- Παρατηρούνται ως ελεύθερα σωματίδια
- Είναι σημειακά ($r < 10^{-17}$ cm)

Η δομή των οικογενειών... $\begin{pmatrix} \nu_e \\ e^- \end{pmatrix}_L$, $\begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu^- \end{pmatrix}_L$, $\begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau^- \end{pmatrix}_L$

$m_e = 0.5 \text{ MeV}$	$m_\mu = 106 \text{ MeV}$	$m_\tau = 1777 \text{ MeV}$
$\tau_e > 4 \cdot 10^{24} \text{ y}$	$\tau_\mu = 2 \cdot 10^{-6} \text{ s}$	$\tau_\tau = 3 \cdot 10^{-13} \text{ s}$
$m_{\nu_e} < 3 \text{ eV}$	$m_{\nu_\mu} < 0.2 \text{ MeV}$	$m_{\nu_\tau} < 18 \text{ MeV}$

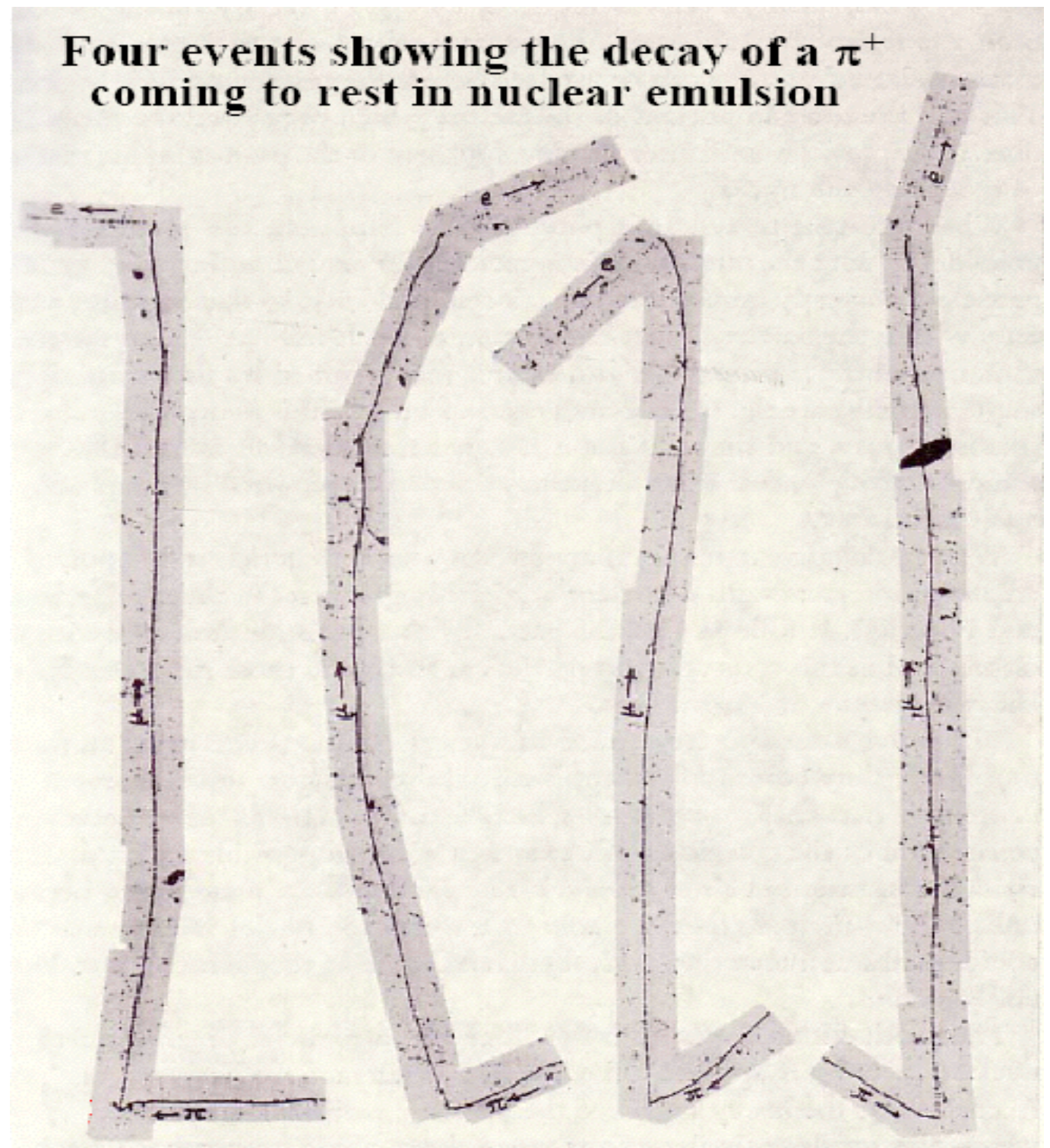
Γιατί 3 οικογένειες?

- 1947: Ανακάλυψη του π-μεσονίου (το ‘πραγματικό’ σωματίδιο Yukawa)

- Παρατήρηση της αλυσιδωτής διάσπασης του :

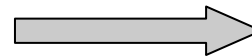
$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ \rightarrow e^+$$

σε γαλακτώματα εκτεθειμένα στην κοσμική ακτινοβολία



Για κάθε λεπτόνιο
υπάρχει το
αντιλεπτόνιό του

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



ΑΤΟΜΟ 	
ΛΕΠΤΟΝΙΑ	
ηλεκτρόνιο υπεύθυνο για ταγ ηλεκτρισμό και τις χημικές αντιδ/σεις. φορτίο -1	νεutrίνο ηλ/νίου Αλληλεπιδρά σπάνια με την ύλη. φορτίο 0
μυόνιο πια βαρύ από τα ηλεκτρόνια	νεutrίνο μυονίου δημιουργείται μαζί με τα μύονια σε μερικές διασπάσεις
ταυ ακόμα πιο βαρύ	νεutrίνο ταυ δεν έχει παρατηρηθεί ακόμα, αλλά πιστεύεται ότι υπάρχει

-1|e|

0 |e|

Τα Ουδέτερα Λεπτόνια - Νετρίνο



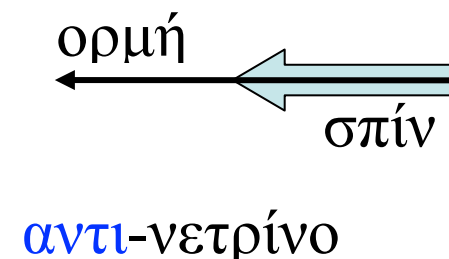
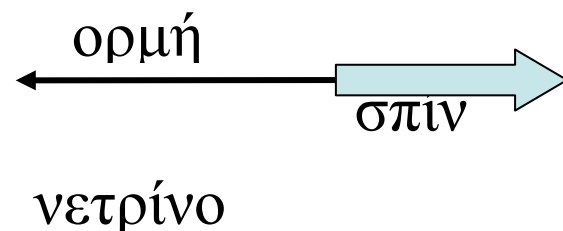
Δεν έχουν φορτίο => Δεν έχουν ηλεκτρομαγνητικές αλληλεπιδράσεις

Τα νετρίνα είναι 'αριστερόστροφα' =>

Το **σπίν** έχει διεύθυνση **αντίθετη** από το διάνυσμα της **ορμής**

Τα **αντι**-νετρίνα είναι 'δεξιόστροφα' =>

το **σπιν** έχει διεύθυνση **ομόρροπη** με το διάνυσμα της **ορμής**



Λεπτονικός Αριθμός

	e^-	ν_e	μ^-	ν_μ	τ^-	ν_τ
L_e	+1	+1	0	0	0	0
L_μ	0	0	+1	+1	0	0
L_τ	0	0	0	0	+1	+1

	e^+	$\bar{\nu}_e$	μ^+	$\bar{\nu}_\mu$	τ^+	$\bar{\nu}_\tau$
L_e	-1	-1	0	0	0	0
L_μ	0	0	-1	-1	0	0
L_τ	0	0	0	0	-1	-1

- Κάθε ‘οικογένεια’ λεπτονίων **ΔΙΑΤΗΡΕΙ** τον αντίστοιχο Λεπτονικό Αριθμό
- Ο Λεπτονικός αριθμός **ΔΙΑΤΗΡΕΙΤΑΙ ΠΑΝΤΑ**

Διατήρηση Λεπτονικού Αριθμού

$$\gamma \rightarrow e^+ + e^-$$

$$L_e: 0 = (-1) + (+1)$$

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$$

$$L_\mu: 0 = (-1) + (+1)$$

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$$

$$L_\mu: (-1) = 0 + 0 + (-1)$$

$$L_e: 0 = (-1) + (+1) + 0$$

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \gamma$$

$$L_\mu: (-1) = 0 + 0$$

$$L_e: 0 = (-1) + 0$$

Χρόνοι ζωής μ : ($2.2 \times 10^{-6}s$) τ : ($2.9 \times 10^{-13}s$)

$$\mu^+ \Rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$$

$$\mu^- \Rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$$

$$\tau^- \Rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\tau$$

$$\tau^- \Rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu + \nu_\tau$$

Για το τ υπάρχουν και διασπάσεις με αδρόνια στην τελική κατάσταση.

$$\tau^- \Rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu + \nu_\tau$$
$$\quad \quad \quad \downarrow$$
$$\quad \quad \quad e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$$

- Ξεκινάμε με ένα ταυ λεπτόνιο
- Καταλήγουμε σε ένα ταυ-νεutrino, 2 μ-νεutrino (νεutrino-αντινεutrino) και 1 ηλεκτρόνιο κι ένα αντι-e-νεutrino
- Τίποτα ΔΕΝ παραβιάζεται !

- **Ισχυρές** αλληλεπιδράσεις έχουν μόνο τα κουάρκ
- Τα φορτισμένα λεπτόνια συμμετέχουν στις **ηλεκτρομαγνητικές** - λόγω του φορτίου τους- και στις **ασθενείς αλληλεπιδράσεις**
- Τα ουδέτερα λεπτόνια -νεutrino- αλληλεπιδρούν **ΜΟΝΟ** με **ασθενείς αλληλεπιδράσεις**
- Τα κουάρκ συμμετέχουν στις **ισχυρές**, στις **ηλεκτρομαγνητικές** και στις **ασθενείς αλληλεπιδράσεις** (δηλ. σε όλες)