

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΥΣΙΚΗΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΚΟΣΜΟΛΟΓΙΑΣ

Στοιχειώδη σωματίδια

1) Τι ονομάζουμε στοιχειώδη σωματίδια και τι στοιχειώδη σωματία;

Η συνήθης ύλη, ήταν γνωστό μέχρι το 1932 ότι αποτελείται μόνο από 3 βασικά σωματία.

Τα ηλεκτρόνια, τα πρωτόνια και τα νετρόνια, τα οποία θεωρούνταν βασικά, με την έννοια ότι ήταν **σταθερά** και δεν αποτελούνταν από άλλα μικρότερα ή στοιχειωδέστερα σωματίδια. Επίσης, ήταν γνωστό ότι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, αποτελείται από τα κβάντα φωτός ή φωτόνια.

Όμως αργότερα παρατηρήθηκαν νέα σωματία.

α) Αρχικά στην κοσμική ακτινοβολία που φτάνει στη γη από το διάστημα και

β) σε πειράματα κρούσεων υψηλής ενέργειας μεταξύ γνωστών σωματιδίων στους όλο και μεγαλύτερους επιταχυντές που κατασκεύαζαν οι φυσικοί μετά τη δεκαετία του 50.

Έτσι κατά τις κρούσεις των αρχικών σωματιών στους επιταχυντές

α) Η κινητική ενέργεια των αρχικών σωματιών μετατρέπονταν σε μάζα νέων σωματιών σύμφωνα με την ισοδυναμία μάζας-ενέργειας ($E=mc^2$).

β) Τα περισσότερα από τα νέα σωματίδια είναι πολύ ασταθή, με σύντομη διάρκεια ζωής (βραχύβια) της τάξης των $10^{-20}s$.

γ) Σήμερα γνωρίζουμε περισσότερα από 200-300 νέα **ασταθή** και **προσωρινά** σωματίδια.

δ) Αναγνωρίσαμε ότι, όλα τα σωματίδια όπως και τα πρωτόνια και τα νετρόνια με εξαίρεση τα ηλεκτρόνια, τα φωτόνια και μερικά ακόμη ότι δεν είναι πραγματικά στοιχειώδη, αλλά αποτελούνται από μικρότερα σωματίδια.

Τις στοιχειώδεις οντότητες που δεν έχουν εσωτερική δομή, τις ονομάζουμε **σωματίδια**.

Ενώ τις πιο σύνθετες οντότητες όπως π.χ πρωτόνια και νετρόνια, τις ονομάζουμε **σωμάτια**.

Έτσι όπως θα δούμε παρακάτω σήμερα πιστεύουμε ότι, όλη η ύλη στη φύση αποτελείται από δύο οικογένειες σωματιδίων τα κουάρκ και τα λεπτόνια.

2) Τι είναι τα αντισωματίδια; Πως συμβολίζονται; Υπάρχουν αντισωματίδια που ταυτίζονται με τα σωματίδιά τους;

Σήμερα η Σύγχρονη Φυσική δέχεται ότι, για κάθε σωματίδιο υπάρχει το αντισωματίδιό του. Το αντισωματίδιο ενός σωματιδίου:

- α) έχει μάζα ίση με τη μάζα του σωματιδίου του ,
- β) έχει τον ίδιο χρόνο ζωής αλλά,
- γ) το φορτίο του (αν έχει) έχει αντίθετο πρόσημο.

Συνήθως τα αντισωματίδια συμβολίζονται με μια παύλα πάνω από το σύμβολο του σωματιδίου.

Έτσι το αντισωματίδιο του e^- είναι το ποζιτρόνιο e^+ ή \bar{e} .

Το αντισωματίδιο του p είναι το αντιπρωτόνιο \bar{p} .

Το αντισωματίδιο του n είναι το αντινετρόνιο \bar{n} .

- Το $sp\bar{h}$ και η μαγνητική ροπή λόγω $sp\bar{h}$ είναι ομοπαράλληλα στο ποζιτρόνιο e^+ και αντιπαράλληλα στο ηλεκτρόνιο e^- .
- Το \bar{p} είναι όμοιο με το p , αλλά έχει στοιχειώδες αρνητικό φορτίο.
- Το \bar{n} που επίσης δεν έχει φορτίο όπως το n , αλλά έχει αντίθετους κβαντικούς αριθμούς και όταν διασπάται παράγονται σωμάτια που είναι αντισωμάτια αυτών που παράγονται από τη διάσπαση του νετρονίου.
- Τα αντισωματίδια του φωτονίου και μερικών άλλων σωματιδίων, ταυτίζονται με τα ίδια τα σωματίδια.

Ο πρώτος που παρατήρησε το ποζιτρόνιο ήταν ο Carl Anderson το 1932 την ίδια χρονιά που ανακαλύφθηκε και το νετρόνιο. Σήμερα πιστεύεται ότι μπορούν να υπάρχουν άτομα που να αποτελούνται από αντισωματίδια. Τέτοια όμως αντίλη φαίνεται να περιέχεται στο σύμπαν ή λίγη ή καθόλου. Όμως οποιαδήποτε επαφή ύλης-αντιύλης θα είχε σαν αποτέλεσμα την βίαιη εξαύλωση τους.

3) Να περιγράψετε το φαινόμενο της δίδυμης γέννησης και το φαινόμενο της εξαύλωσης.

α) Ο πιο συνηθισμένος τρόπος παραγωγής ποζιτρονίων, είναι η δίδυμη γέννηση, που ανακαλύφθηκε από τον Anderson το 1932, κατά την οποία παράγεται ζεύγος ποζιτρονίου-ηλεκτρονίου.

Στο φαινόμενο αυτό ένα φωτόνιο υψηλής ενέργειας, συγκρούεται με έναν πυρήνα και εξαφανίζεται, ενώ στη θέση του εμφανίζεται ένα ζεύγος $e^- - e^+$. Ας σημειωθεί ότι η παρουσία ύλης στο φαινόμενο αυτό, παίζει μόνον το ρόλο του καταλύτη.

Η ενεργειακή εξίσωση της δίδυμης γέννησης είναι: $E_\gamma = h \cdot f = Ke^- + Ke^+ + 2m_0 \cdot c^2$

Όπου Ke^- και Ke^+ είναι οι κινητικές ενέργειες του ηλεκτρονίου και του ποζιτρονίου αντίστοιχα. Η ενέργεια ανάκρουσης του πυρήνα, θεωρείται πολύ μικρή και παραλείπεται. Έτσι αν θεωρήσουμε ότι $Ke^- = Ke^+ = 0$ τότε η ελάχιστη ενέργεια του ζεύγους, είναι τουλάχιστον ίση με αυτή που αντιστοιχεί στη μάζα ηρεμίας τους δηλαδή, $E = 2 \cdot m_0 \cdot c^2 = 2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 9 \cdot 10^{16} \Rightarrow E = 1,64 \cdot 10^{-13} \text{J}$ ή $E = 1,02 \text{MeV}$.

Τότε όμως και η ενέργεια του φωτονίου που εξαφανίζεται, πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με $E_\gamma = 2 \cdot m_0 \cdot c^2 = 1,02 \text{MeV}$. Αν η ενέργεια του φωτονίου γ , είναι μεγαλύτερη από $1,02 \text{MeV}$, τότε η επιπλέον ενέργεια θα εμφανιστεί ως κινητική ενέργεια του e^- και του e^+ . Γενικά λοιπόν για να πραγματοποιηθεί το φαινόμενο της δίδυμης γέννησης θα πρέπει η ενέργεια του φωτονίου να είναι $E_\gamma \geq 1,02 \text{MeV}$.

β) Η αντίστροφη διαδικασία ονομάζεται **εξαϋλωση**. Δηλαδή, όταν ένα e^- συγκρούεται με ένα e^+ τότε τα δύο σωματίδια εξαφανίζονται και στη θέση τους δημιουργούνται τουλάχιστον δύο ή περισσότερα φωτόνια, με ολική ενέργεια $2 m_0 c^2 = 1,02 \text{MeV}$. Η αντίδραση μπορεί να γραφεί ως $e^- + e^+ \rightarrow 2\gamma$.

Δημιουργία μόνο ενός φωτονίου με τη διαδικασία αυτή, είναι αδύνατη γιατί δεν θα ισχύει η **Α.Δ.Ο. (Αρχή Διατήρησης της Ορμής)**.

Τα δύο φωτόνια της εξαϋλωσης κινούνται σχεδόν σε αντίθετες κατευθύνσεις, σχηματίζοντας γωνία $\approx 180^\circ$, το ένα ως προς το άλλο, για να ισχύει η Α.Δ.Ο. Αν όμως η αρχική ενέργεια του ζεύγους $e^- - e^+$ είναι αρκετά μεγάλη, τότε θα εμφανιστεί πλειάδα άλλων σωματίων, αλλά πάντα θα ισχύει η Α.Δ.Ε. και η Α.Δ.Ο.

Η εξαϋλωση, είναι γενικότερο φαινόμενο. Έτσι και ένα πρωτόνιο και ένα αντιπρωτόνιο (συζυγές ζεύγος σωματίου - αντισωματίου) μπορούν να εξαϋλωθούν, παράγοντας δυο φωτόνια.

Ταξινόμηση των σωματιδίων

4) Πως ταξινομούνται τα στοιχειώδη σωματίδια;

Όλα τα σωματίδια σύμφωνα με τις αλληλεπιδράσεις στις οποίες υπόκεινται, μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες.

α) Τα αδρόνια β) τα λεπτόνια και γ) τα σωματίδια φορείς των αλληλεπιδράσεων (δυνάμεων) .

5) Τι γνωρίζετε για τα αδρόνια και τα quarks;

Αδρόνια: Στα αδρόνια ανήκουν τα πρωτόνια και τα νετρόνια όπως και πολλά άλλα σωματίδια, καθώς και τα αντισωματίδια τους.

Τα αδρόνια :

I. Εκδηλώνουν ισχυρές αλληλεπιδράσεις (υπόκεινται όμως και στις ασθενείς) και

II. Έχουν εσωτερική δομή και αποτελούνται από ποιο μικροσκοπικά συστατικά, που ονομάζονται quarks ή γεύσεις. Κάθε quark είναι και μια γεύση.

Τα αδρόνια υποδιαιρούνται σε μεσόνια και βαρυόνια.

Τα μεσόνια έχουν spin 0 ή 1 άρα είναι μποζόνια. Έχουν μάζες μεταξύ της μάζας του ηλεκτρονίου και του πρωτονίου. Τα μεσόνια διασπώνται σε e^- , μ^- , ν και φωτόνια. Ενώ τα βαρυόνια έχουν spin $\frac{1}{2}$ ή $\frac{3}{2}$ δηλαδή είναι φερμιόνια (υπακούουν στην απαγορευτική αρχή του Pauli). Έχουν μάζα μεγαλύτερη ή ίση από τη μάζα του πρωτονίου. Όλα τα βαρυόνια εκτός από το πρωτόνιο που είναι το ελαφρύτερο, διασπώνται με τέτοιο τρόπο ώστε στα προϊόντα να υπάρχει και πρωτόνιο.

Μεσόνια είναι τα πιόνια π , (π^+ , π^- και π^0) τα καόνια K (K^+ , K^- , K^0) τα μεσόνια η (η^0) κ.ά. Όλα τα παραπάνω έχουν spin = 0. Τα π^+ και π^- έχουν σχέση σωματιδίου - αντισωματιδίου ενώ το π^0 είναι αντισωματίδιο του εαυτού του.

Στα βαρυόνια ανήκουν τα νουκλεόνια και μερικά σωματίδια που ονομάζονται υπερόνια όπως τα Λ (Λ^0), Σ (Σ^+ , Σ^- , Σ^0), Ξ (Ξ^- , Ξ^0) και το Ω (Ω^-).

Τα νουκλεόνια όπως και τα Λ^0 , Σ^+ , Σ^- , Σ^0 , Ξ^- , Ξ^0 έχουν spin = $\frac{1}{2}$ ενώ το Ω^- έχει spin = $\frac{3}{2}$.

- Όλα τα υπερόνια είναι ασταθή
- Όλα τα μεσόνια είναι ασταθή
- Τα βαρυόνια υπακούουν στην αρχή διατήρησης του βαρυονικού

αριθμού B.

Κάθε βαρυόνιο ($p, n, \Lambda^0, \Sigma^+, \Sigma^-, \Sigma^0, \Xi^-, \Xi^0, \Omega^-$) έχει βαρυονικό αριθμό $B=+1$ ενώ τα αντιβαρυόνια των παραπάνω βαρυονίων ($\bar{p}, \bar{n}, \bar{\Lambda}, \bar{\Sigma}, \bar{\Xi}, \bar{\Omega}$) έχουν $B=-1$. Σε όλες τις πυρηνικές αντιδράσεις διατηρείται ο ολικός βαρυονικός αριθμός. Αυτή είναι η αιτία της αρχής διατήρησης του μαζικού αριθμού (συνολικού αριθμού των νουκλεονίων αντιδρώντων - προϊόντων) σε όλες τις πυρηνικές αντιδράσεις. Ο βαρυονικός αριθμός δεν διατηρείται μόνο στις πολύ υψηλές ενέργειες, άρα στα αρχικά στάδια δημιουργίας του σύμπαντος..

Παρατηρήσεις:

1. Σύμφωνα με τα παραπάνω θεωρούμε ότι το φωτόνιο, τα λεπτόνια ($e^-, \mu^-, \tau^-, \nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau$) και τα μεσόνια (π, K, η) έχουν βαρυονικό αριθμό $B=0$.
2. Επειδή τα βαρυόνια αποτελούνται από 3 κουάρκ θεωρούμε ότι ο βαρυονικός αριθμός για κάθε κουάρκ είναι $B=+\frac{1}{3}$ ενώ για κάθε αντικουάρκ είναι $B=-\frac{1}{3}$. Έτσι όπως θα δούμε παρακάτω για το πρωτόνιο έχουμε (u, u, d) δηλαδή $B=\frac{1}{3}+\frac{1}{3}+\frac{1}{3}=1$
3. Στα μεσόνια έχουμε ένα ζεύγος κουάρκ - αντικουάρκ, άρα $B=0$. Για παράδειγμα το πiónιο π^0 έχει δομή σε κουάρκ ($u\bar{u}$) άρα $B=\frac{1}{3}-\frac{1}{3}=0$.

Παράδειγμα

1. Εξετάστε αν διατηρείται ο βαρυονικός αριθμός στις παρακάτω αντιδράσεις.

α. $p + n \rightarrow p + n + \bar{n}$

β. $n + \nu_e \rightarrow p + \beta^-$

γ. $p + n \rightarrow p + \mu^+ + \mu^-$

δ. $p + n \rightarrow p + n + p + \bar{p}$

ε. $\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$

Απάντηση:

α. Στα αντιδρώντα είναι $B=1+1=2$ ενώ στα προϊόντα είναι $B=1+1-1=1$. Άρα η παραπάνω αντίδραση δεν είναι δυνατό να παρατηρηθεί στη φύση. Για να διατηρείται ο βαρυονικός αριθμός πρέπει να δημιουργούνται ζεύγη βαρυονίων που να έχουν σχέση σωματιδίου - αντισωματιδίου.

β. Στα αντιδρώντα είναι $B=1$ το ν_e δεν χαρακτηρίζεται από βαρυονικό αριθμό σαν λεπτόνιο που είναι και στα προϊόντα είναι $B=1$ το β^- είναι λεπτόνιο.

Ακόμη όπως θα δούμε παρακάτω ισχύει και η διατήρηση των λεπτονικών αριθμών. Αρχικά είναι $L_e=+1$ και τελικά επίσης $L_e=+1$.

Ακόμη παρατηρούμε ότι στην συγκεκριμένη αντίδραση ισχύει και η αρχή διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου αλλά και του συνολικού αριθμού των νουκλεονίων. Άρα μια τέτοια αντίδραση είναι δυνατόν να παρατηρηθεί.

$$\gamma. \quad p + n \rightarrow p + \mu^+ + \mu^-$$

$$B=1 + 1 \neq 1 + 0 + 0,$$

άρα μια διάσπαση αυτού του τύπου απαγορεύεται, γιατί δεν διατηρείται ο βαρυονικός αριθμός B.

$$\delta. \quad p + n \rightarrow p + n + p + \bar{p}$$

$$B=1 + 1 = 1 + 1 + 1 - 1$$

άρα επιτρέπεται η δημιουργία ζεύγους σωματιδίων με την παραπάνω αντίδραση, αρκεί να υπάρχει ικανή ενέργεια.

$$\epsilon. \quad \pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$$

$$B=0 = 0 + 0$$

Τα quarks:

- 1) Δεν έχουν εσωτερική δομή
- 2) Υπάρχουν τρία ζεύγη quarks δηλαδή συνολικά 6 quarks. Αυτά είναι τα up - down , charm- strange, top - bottom ή truth - beauty.
- 3) Τα quark έχουν κλάσμα του στοιχειώδους ηλεκτρικού φορτίου. Το ηλεκτρικό φορτίο του up είναι $\frac{2}{3}e^-$ και του down , $-\frac{1}{3}e^-$. Παρόμοια το charm έχει ηλεκτρικό φορτίο $\frac{2}{3}e^-$ και το strange $-\frac{1}{3}e^-$. Τέλος το top έχει ηλεκτρικό φορτίο $\frac{2}{3}e^-$ ενώ το bottom $-\frac{1}{3}e^-$.

4) Τα quarks δεν εμφανίζονται ποτέ μόνα τους, αλλά ομαδοποιούνται με άλλα quarks. Η ομαδοποίησή τους γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε, τα αδρόνια που σχηματίζονται να έχουν πάντα ακέραιο ηλεκτρικό φορτίο ($0, \pm 1e^-, \pm 2e^-$, κ.τ.λ). Το **strange quark s**, απαιτείται μόνο για τη συγκρότηση των παράδοξων σωματιδίων.

Έτσι σήμερα πιστεύεται ότι τα quark είναι δέσμια μιας ισχυρότατης ελκτικής δύναμης, που τα εμποδίζει να εμφανιστούν σαν ξεχωριστές οντότητες έξω από τα αδρόνια. Η δύναμη αυτή αυξάνεται με τη μεταξύ τους απόσταση και ονομάζεται δύναμη χρώματος.

Έτσι το πρωτόνιο αποτελείται από 2 up και ένα down quark, συμβολίζεται: (u u d) και έχει συνολικό φορτίο: $\frac{2}{3}e^- + \frac{2}{3}e^- - \frac{1}{3}e^- = e^-$ (στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο), ενώ το νετρόνιο, αποτελείται από 1 up και 2 down και συμβολίζεται (u d d) και έχει συνολικό φορτίο: $\frac{2}{3}e^- - \frac{1}{3}e^- - \frac{1}{3}e^- = 0$ είναι δηλαδή ηλεκτρικά ουδέτερο.

♦ Βέβαια εκτός από τα quark υπάρχουν και τα αντιquark με αντίθετο ηλεκτρικό φορτίο έτσι π.χ. $\bar{u} = -\frac{2}{3}e^-$ και το $\bar{d} = +\frac{1}{3}e^-$.

Έτσι το αντιπρωτόνιο \bar{p} , αποτελείται από δύο \bar{u} και ένα \bar{d} quark δηλαδή ($\bar{u} \bar{u} \bar{d}$) και έχει φορτίο $-\frac{2}{3} - \frac{2}{3} + \frac{1}{3} = -e^-$, ενώ το αντινετρόνιο από ένα \bar{u} και δύο \bar{d} δηλαδή ($\bar{u} \bar{d} \bar{d}$) και έχει φορτίο $-\frac{2}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3} = 0$.

♦ Συνοψίζοντας μπορούμε να πούμε ότι όλα τα αδρόνια αποτελούνται συνολικά από 6 quarks $\begin{pmatrix} up & 2/3 \\ down & -1/3 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} charm & 2/3 \\ strange & -1/3 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} top & 2/3 \\ bottom & -1/3 \end{pmatrix}$ ή 3 ζεύγη quarks.

♦ Κάθε μεσόνιο αποτελείται από ένα ζεύγος κουάρκ - αντικουάρκ. Έτσι το π^0 έχει περιεχόμενο σε quark (u \bar{u}) ή (d \bar{d}), ανάλογα π^+ (u \bar{d}), π^- (\bar{u} d), K^+ (u \bar{s}), K^- (\bar{u} s), K^0 (d \bar{s}) και τέλος το n^0 (u \bar{u}) ή (d \bar{d}) ή (s \bar{s}).

♦ Τα βαρυόνια αποτελούνται από 3 quarks. Έτσι εκτός από το πρωτόνιο και το νετρόνιο που αναφέραμε παραπάνω για τα υπόλοιπα βαρυόνια έχουμε την παρακάτω σύνθεση σε quarks.

Λ^0	uds
Σ^+	uus
Σ^-	dds
Σ^0	uds
Ξ^-	dss
Ξ^0	uss
Ω^-	sss

♦ Από τα βαρυόνια τα Λ , Σ , Ξ και Ω ονομάζονται υπερόνια.

♦ Παράξενα ή παράδοξα σωματίδια (strange particles),

Θεωρούνται το μεσόνιο K και τα υπερόνια Λ και Σ εξαιτίας της παράξενης συμπεριφοράς τους κατά την παραγωγή τους ή τη διάσπασή τους. Στα παράδοξα σωματίδια υπάρχει στη δομή τους το s κουάρκ. Τα Ξ^0 και Ξ^- που έχουν δυο s κουάρκ (διαφορετικού όμως χρώματος), θεωρούνται διπλά παράδοξα σωματίδια. Π.χ για το Ξ^0 είναι $((uss)$ τα δυο s κουάρκ είναι διαφορετικού χρώματος.

1. Μια παράξενη ιδιότητά τους είναι ότι αν και παράγονται από τις ισχυρές αλληλεπιδράσεις η διάσπασή τους δεν φαίνεται να υπακούει σε αυτές αλλά μάλλον στις ασθενείς αλληλεπιδράσεις.

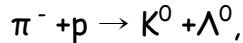
2. Άλλη παράξενη ιδιότητά τους είναι ότι δε δημιουργούνται ποτέ μόνα αλλά δυο ή περισσότερα κάθε φορά. Δηλαδή δεν μπορεί να παραχθεί μόνο το K ή Λ ή Σ αλλά δυο ή περισσότερα από αυτά. Π.χ η αντίδραση $\pi^- + p \rightarrow K^0 + \Lambda^0$, συντελείται στη φύση μια και έχουμε παραγωγή ζεύγους παράδοξων σωματιδίων εδώ του ζεύγους (K^0, Λ^0) . Από την άλλη η αντίδραση $\pi^- + p \rightarrow K^0 + n$, δεν πραγματοποιείται αφού παράγεται μόνο ένα παράξενο σωματίδιο το K^0 .

♦ Για να ερμηνευτεί η παραξενιά των παραπάνω σωματιδίων διατυπώθηκε ένας επιπλέον νόμος διατήρησης που ονομάζεται νόμος διατήρησης της παραξενιάς ή παραδοξότητας. Έτσι δημιουργήθηκε η ανάγκη για την εισαγωγή ακόμη ενός κβαντικού αριθμού της παραξενιάς ή παραδοξότητας S .

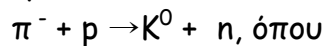
♦ Τα υπερόνια Λ^0 , Σ^+ , Σ^- και Σ^0 , έχουν τιμή παραδοξότητας $S=-1$ ενώ τα συνοδά τους μεσόνια K^0 , K^+ έχουν παραδοξότητα $S=+1$. Τα αντισωματίδιά τους έχουν αντίθετη παραδοξότητα.

Δηλαδή τα $\bar{\Lambda}^0$ και $\bar{\Sigma}^+$, $\bar{\Sigma}^-$ και $\bar{\Sigma}^0$ έχουν παραδοξότητα $S=+1$ ενώ τα \bar{K}^0 και K^- έχουν παραδοξότητα $S=-1$. Σε όλα τα υπ' πολιοιπα αδρόνια που δεν είναι παράξενα καθώς και στα λεπτόνια δίνεται η τιμή παραδοξότητας $S=0$.

Στην αντίδραση λοιπόν



έχουμε για την παραξενιά πριν την αντίδραση $S=0+0=0$, και για την παραξενιά μετά την αντίδραση $S=+1-1=0$. Άρα το άθροισμα της παραξενιάς πριν και μετά την αντίδραση διατηρείται σταθερό. Κάτι τέτοιο δεν παρατηρείται στην αντίδραση



$$S=0+0 \neq +1+0.$$

- ♦ Πειραματικά διαπιστώνεται ότι η παραδοξότητα διατηρείται **μόνο** στις ισχυρές και στις ηλεκτρομαγνητικές αλληλεπιδράσεις και όχι στις ασθενείς αλληλεπιδράσεις. Δηλαδή η παραδοξότητα διατηρείται υπό συνθήκες και **όχι πάντα**.

- ♦ Για τα quarks ισχύει ο παρακάτω πίνακας.

quarks	Spin	Βαρυονικός Α- ριθμός B	Παραδοξότητα S
u	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	0
d	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	0
s	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	-1
c	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	0
b	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	0
t	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	0

Τα αντικουάρκ τους έχουν **αντίθετες** τιμές B και S

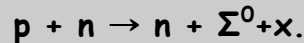
- ♦ Επειδή τα quarks είναι φερμιόνια $spin=\frac{1}{2}$ υπακούουν στην απαγορευτική αρχή του Pauli. Πως όμως τότε είναι δυνατόν σε ένα βαρυόνιο ας πούμε στο πρωτόνιο να έχουμε δυο up quarks; Για το πρωτόνιο θυμίζουμε ότι έχουμε τη δομή (u u d). Αυτό ισχύει γιατί τα δυο up κουάρκ δεν έχουν

όπως λέμε το ίδιο χρώμα. Για κάθε quark ή αλλιώς για κάθε γεύση θεωρούμε ότι έχουμε τρία χρώματα. Ας πούμε το κόκκινο, πράσινο και μπλε. Έτσι για να ισχύει η απαγορευτική αρχή μέσα στο πρωτόνιο έχουμε ένα κόκκινο up κουάρκ, ένα πράσινο up κουάρκ και ένα μπλε down κουάρκ. Δηλαδή πρέπει να ισχύει η απαγορευτική αρχή για κάθε χρώμα.

- ♦ Αξίζει όμως να σημειωθεί ότι όλα τα αδρόνια που παρατηρούμε σήμερα στο Σύμπαν, είναι φτιαγμένα μόνο από το ζεύγος quarks up και down.

Παράδειγμα

2. Για τη σύγκρουση μεταξύ ενός ταχέως κινούμενου πρωτονίου και ενός νετρονίου ισχύει η αντίδραση:



Το σωματίδιο x που συμπληρώνει σωστά την αντίδραση είναι το:

- α. K^+
- β. Λ^0
- γ. e^{+1}
- δ. π^0 .

Απάντηση:

Τα αντιδρώντα έχουν συνολικό βαρυονικό αριθμό $B=1+1=2$ και τα προϊόντα $B=1+1+x$. Άρα θα πρέπει το x να έχει βαρυονικό αριθμό $B=0$. Το K^+ έχει $B=0$ το Λ^0 , έχει $B=+1$, το e^{+1} έχει $B=0$ και το π^0 , έχει $B=0$.

Όμως για την παραξενιά των αντιδρώντων είναι $S=0+0=0$. Τα προϊόντα έχουν $S=0-1+x$. Άρα θα πρέπει το x να έχει παραξενιά $S=+1$. Το K^0 έχει παραξενιά $S=+1$ ενώ το Λ^0 , έχει παραξενιά $S=-1$. Ακόμη για το e^{+1} και το π^0 είναι $S=0$. Άρα το σωστό σωματίδιο είναι το K^+ , παρόλο που αρχή διατήρησης του φορτίου θα ίσχυε και με το e^{+1} .

6) Τι γνωρίζετε για τα λεπτόνια;

Η συνέχεια στην επόμενη ανάρτηση...