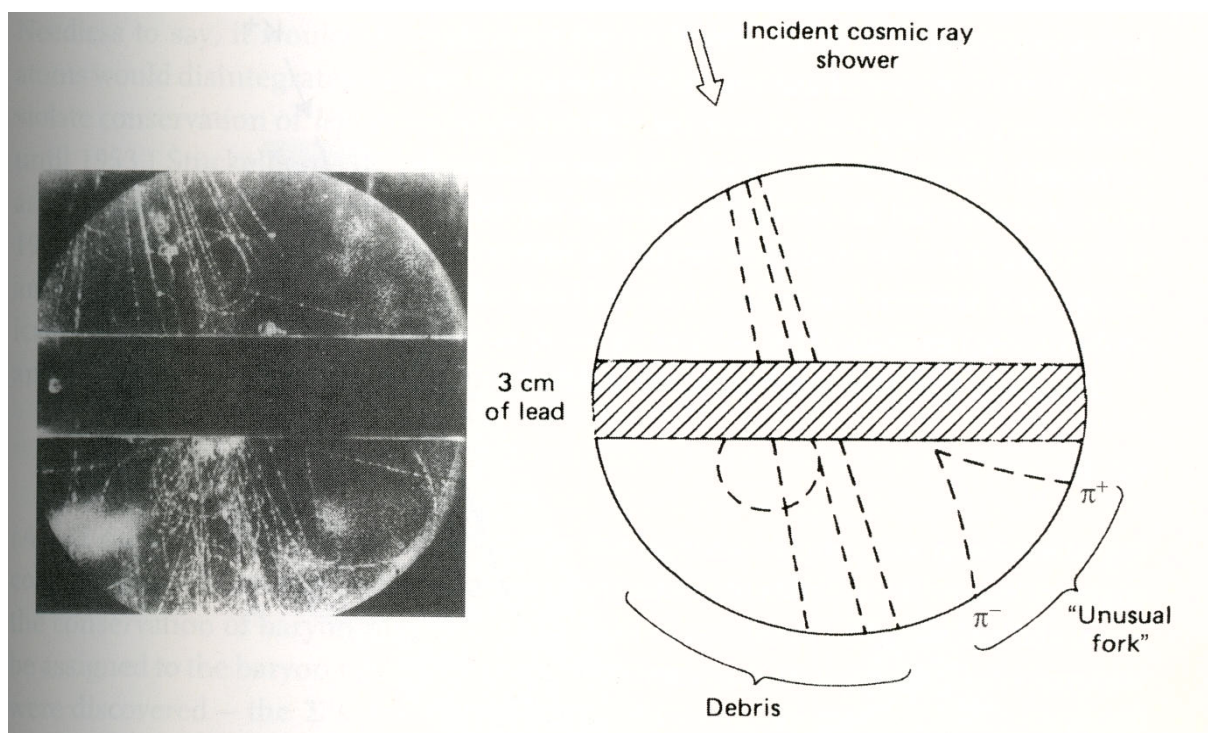


## Διάλεξη 16: Παράδοξα σωματίδια και οκταπλός δρόμος

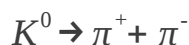
### Παράδοξα σωματίδια

Μετά την ανακάλυψη του μεσονίου που είχε προβλέψει ο Υκawa, την ανακάλυψη των αντισωματιδίων του Dirac και την κοπιώδη αλλά αποτελεσματική προσπάθεια ανίχνευσης των διαφορετικών νετρίνων θα περίμενε κανείς ότι όλα λίγο πολύ έχουν μπει σε μια τάξη και ότι πρόκειται να ακολουθήσει μια μάλλον βαρετή περίοδος για την φυσική στοιχειωδών σωματιδίων. Φυσικά, δεν κράτησε για πολύ αυτή η ψευδαίσθηση ότι γνωρίζουμε τα πάντα. Την εικόνα αυτή την τάραξαν οι πιο κάτω εικόνες.

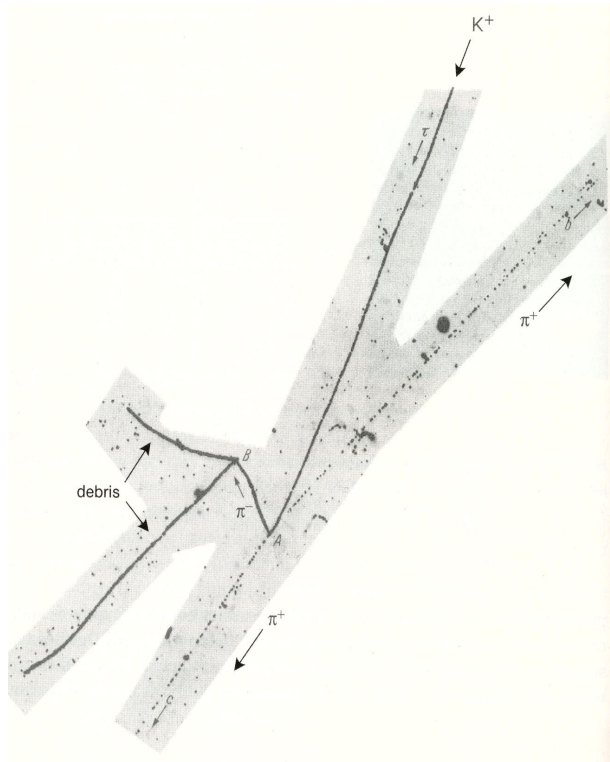
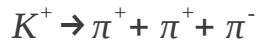


Σχήμα 1: Ίχνη στοιχειωδών σωματιδίων σε θάλαμο νέφωσης. Ένα ουδέτερο σωματίο αποδιεγείρεται σε δύο αντίθετα φορτισμένα πιόνια. Αυτή ήταν και η πρώτη παρατήρηση αποδιέγερσης του σωματιδίου  $K^0$ .

Από μια προσεκτική μελέτη των ιχνών στοιχειωδών σωματιδίων σε θάλαμο νέφωσης παρατηρήθηκε ότι ένα ουδέτερο σωματίο αποδιεγείρεται σε δύο αντίθετα φορτισμένα πιόνια. Ένα τέτοιο σωματίο που θα μπορούσε να δώσει μια τέτοια αποδιέγερση δεν είχε ποτέ ξανά παρατηρηθεί και το σωματίο αυτό ονομάστηκε καόνιο - 0 ( $K^0$ ).

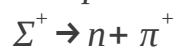
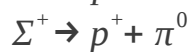
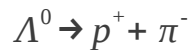


Λίγο αργότερα παρατηρήθηκε μια ακόμη πιο εξωτική μορφή αποδιέγερσης από ένα θετικά φορτισμένο σωματίο το "καόνιο +" το οποίο αποδιεγείρεται σε 3 πιόνια σύμφωνα με την εξίσωση:



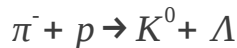
Σχήμα 2: Η πρώτη παρατήρηση αποδιέγερσης του καονίου (+) ( $K^+$ ) όπως καταγράφηκε σε φωτογραφικό υλικό.

Στην συνέχεια παρατηρήθηκαν και άλλα παράδοξα σωματίδια τα οποία αποδειγνύονται σε διάφορα σωματίδια ένα εκ των οποίων είναι βαρυόνιο όπως για παράδειγμα:



...

Η διαφορά των πιο πάνω αποδιεγέρσεων σε σχέση με τις δύο προηγούμενες είναι ότι στα προϊόντα της αποδιέγερσης υπάρχει ένα βαρυόνιο. Την ίδια εποχή είχε ολοκληρωθεί και ο πρώτος σωματιδιακός επιταχυντής στο Brookhaven οπότε μία τεράστια καμπάνια παρατήρησης νέων σωματιδίων και τρόπων που αυτά αλληλεπιδρούν ξεκίνησε. Όπως για παράδειγμα η αλληλεπίδραση ενός πρωτονίου με ένα πιόνιο μέσω της οποίας παράγονται δύο πάλι παράξενα σωματίδια. Το πιο κάτω σχήμα αντιστοιχεί στην παραγωγή των σωματιδίων  $K^0$  και  $\Lambda$  σύμφωνα με την εξίσωση:



Τώρα μετά από αυτή την σύντομη παρουσίαση αυτών των παράδοξων σωματιδίων που ήρθαν για να ταράξουν την γαλήνη των φυσικών έρχεται μοιραία το ερώτημα: **“Γιατί τα ονομάζουμε παράδοξα”**. Προφανώς όχι μόνο γιατί μέχρι τότε δεν ήταν γνωστά. Ένας λόγος ήταν ότι σε **όλες τις περιπτώσεις που τα σωματίδια αυτά παράγονταν από γνωστά μέχρι τότε σωματίδια και παράγονταν κατά ζεύγη**. Αυτό βέβαια -δεδομένης της εμπειρίας μας με τα νετρίνα- σημαίνει ότι έχουμε να κάνουμε με την διατήρηση κάποιου κβαντικού αριθμού. **Το δεύτερο παράδοξο ήταν ότι τα σωματίδια αυτά παράγονταν σε πολύ μικρούς χρόνους ( $10^{-23}$  s) που συνδέονται άμεσα με την ισχυρή αλληλεπίδραση και αποδιηγείρονται σε χρόνους πολύ πολύ πιο αργούς χαρακτηριστικούς της ασθενούς αλληλεπίδρασης ( $10^{-10}$  s)**. Για αυτούς λοιπόν τους δύο λόγους τα παράδοξα σωματίδια ονομάστηκαν έτσι.

Από την συστηματική παρατήρηση του τρόπου σχηματισμού των παράδοξων σωματιδίων αλλά και από τον τρόπο και τον μηχανισμό που αυτά αποδιηγείρονται έγιναν οι εξής παρατηρήσεις:

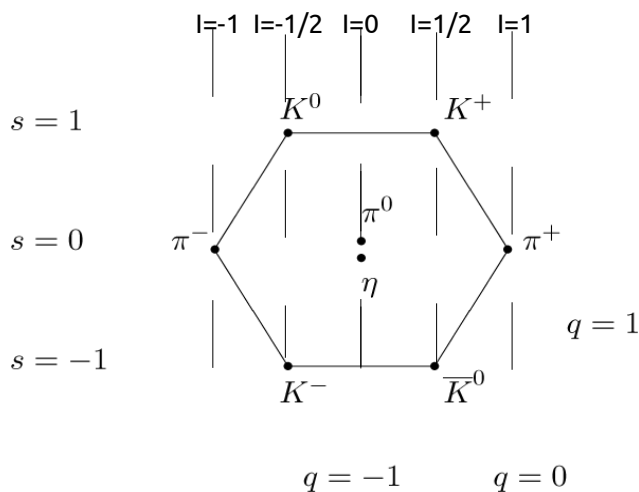
Ότι τα παράδοξα σωματίδια μπορεί να είναι τόσο βαρυόνια όσο και μεσόνια.

**Τα βαρυόνια έχουν βαρυονικό αριθμό ο οποίος διατηρείται πάντα**. Έτσι με έναν πολύ κομψό τρόπο γίνεται κατανοητό γιατί τα παράδοξα βαρυόνια αποδιηγείρονται και ένα από τα προϊόντα είναι είτε πρωτόνιο ή νετρόνιο.

Ο ίδιος είναι και ο λόγος που το πρωτόνιο είναι σταθερό. Ως το ελαφρύτερο βαρυόνιο της φύσης δεν έχει τρόπο να αποδιεγερθεί και έτσι -ευτυχώς!- έχουμε σταθερούς πυρήνες υδρογόνου. Ένα επιπλέον συμπέρασμα ήταν ότι **ένας επιπλέον κβαντικός αριθμός θα πρέπει να εισαχθεί**. Αυτός της παραδοξότητας. Με τον τρόπο αυτό δίνεται εξήγηση γιατί αυτά τα παράδοξα σωματίδια παράγονται κατά ζεύγη. Δηλαδή, διατηρείται **ο κβαντικός αριθμός της παραδοξότητας**. Ένα σωματίδιο μπορεί να έχει  $S=+1$  το άλλο  $S=-1$  και με τον τρόπο αυτό δύο παράδοξα σωματίδια παράγονται χωρίς να παραβιάζεται η διατήρηση της παραδοξότητας. Κατά την αποδιέγερση όμως η παραδοξότητα παραβιάζεται. Από συστηματική παρατήρηση βρέθηκε ότι όντως **ο κβαντικός αριθμός της παραδοξότητας παραβιάζεται στις ασθενείς αλληλεπιδράσεις**.

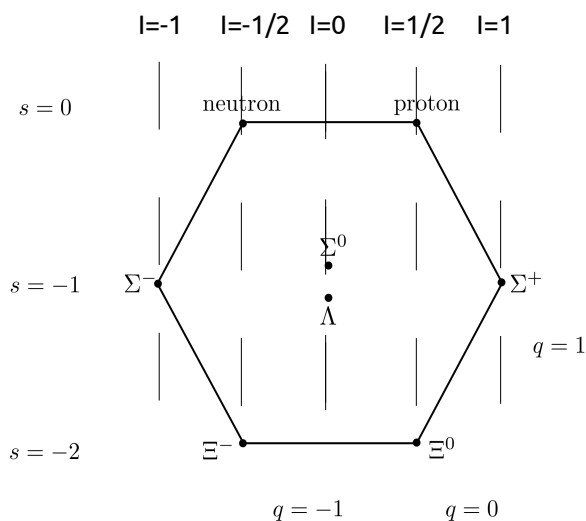
## Οκταπλός δρόμος

Η παρατήρηση νέων σωματιδίων διατάραξε κατά κάποιο τρόπο την προηγούμενη τάξη και έτσι οι φυσικοί υψηλών ενεργειών επιχείρησαν να ομαδοποιήσουν τα μέχρι στιγμής γνωστά σωματίδια σε κατηγορίες που σχετίζονται με τους κβαντικούς αριθμούς τους και το φορτίο τους. Ένας πρώτος βασικός διαχωρισμός που εύκολα μπορεί να σκεφτεί κανείς είναι εκείνος σε βαρυόνια και μεσόνια. Στη συνέχεια δύο διαφορετικές οκταπλέτες σχηματίστηκαν.



Σχήμα 3: Οκταπλέτα μεσονίων

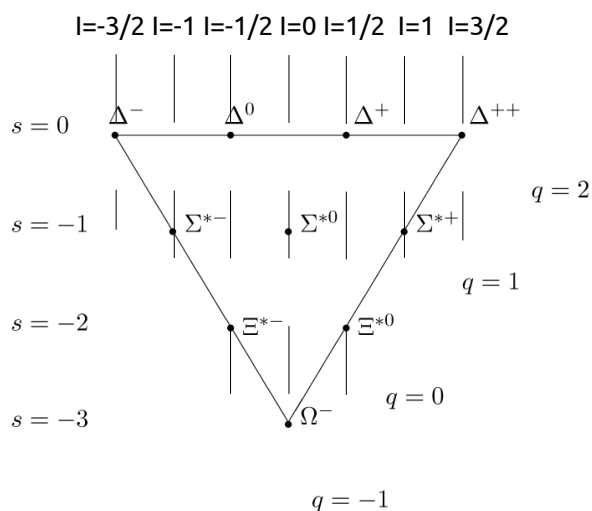
Στο πιο πάνω σχήμα τα έξι ελαφρύτερα μεσόνια σχηματίζουν ένα εξάγωνο αν θεωρήσουμε ότι οι οριζόντιες γραμμές αντιστοιχούν σε διαφορετικές παραδοξότητες  $S=1,0,-1$  και οι διαγώνιες γραμμές σε διαφορετικά φορτία  $Q=-1,0,1$ . Με παρόμοιο τρόπο προκύπτει η οκταπλέτα των οκτώ ελαφρύτερων βαρυονίων.



Σχήμα 4: Οκταπλέτα βαρυονίων

Στο πιο πάνω σχήμα πάλι οι οριζόντιες γραμμές αντιστοιχούν σε διαφορετικές τιμές της παραδοξότητας και οι διαγώνιες γραμμές σε διαφορετικά φορτία. Εδώ όμως η παραδοξότητα παίρνει τιμές  $S= 0,-1,-2$ .

Λίγο αργότερα τα δέκα βαρύτερα βαρυόνια τοποθετήθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε σχηματίστηκε η δεκαπλέτα των βαρυονίων.



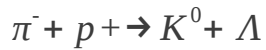
Σχήμα 5: Δεκαπλέτα βαρυονίων

Σημαντική επιτυχία αυτής της μορφής ομαδοποίησης των στοιχειωδών σωματιδίων ήταν ότι οι ιδιότητες τους ομαδοποιήθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε **ακόμη και σωματίδια τα οποία δεν είχαν ως τότε ανακαλυφθεί οι φυσικοί γνώριζαν τις ιδιότητες τους.** Όπως ακριβώς είχε γίνει αρκετά χρόνια πιο πριν με τον περιοδικό πίνακα του Mendeleev για την περίπτωση των χημικών στοιχείων.

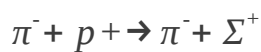
Στις παραπάνω διατάξεις έγινε αναφορά στον κατακόρυφο άξονα των  $\psi$  ο οποίος αντιστοιχεί στον κβαντικό αριθμό της παραδοξότητας και στον διαγώνιο άξονα ο οποίος αντιστοιχεί στο φορτίο του κάθε σωματιδίου. Ο **οριζόντιος άξονας** σε όλους τους παραπάνω σχηματισμούς αντιστοιχεί στον κβαντικό αριθμό του **ισοσπίν**. Πρόκειται για έναν κβαντικό αριθμό που πρώτα ο Heisenberg εισήγαγε, πολύ νωρίτερα (1932), μετά την ανακάλυψη του νετρονίου. Το ισοσπίν εκφράζει το γεγονός ότι το πρωτόνιο και το νετρόνιο παρουσιάζουν κοινές ιδιότητες (βλ. κατοπτρικούς πυρήνες) με μόνη διαφορά την ύπαρξη φορτίου στην περίπτωση του πρωτονίου. Έτσι η συμμετρία των ισχυρών αλληλεπιδράσεων ως προς το αν ένα νουκλεόνιο είναι πρωτόνιο ή νετρόνιο εκφράστηκε μέσω της έννοιας του ισοσπίν. Έτσι μπορούμε να μιλάμε ως προς τις ισχυρές αλληλεπιδράσεις για ένα είδος σωματιδίου – το νουκλεόνιο – όπου για ισοσπίν  $I=1/2$  αναφερόμαστε στο πρωτόνιο και για  $I=-1/2$  στο νετρόνιο. Έτσι στις παραπάνω οκταπλέτες και δεκαπλέτες με διακεκομμένες κάθετες γραμμές δίνεται η βαθμονόμηση του οριζόντιου άξονα ως προς τον κβαντικό αριθμό του ισοσπίν.

## Παραδείγματα:

1) Να προσδιοριστεί εάν οι ακόλουθες αντιδράσεις μπορούν να γίνουν ή όχι βάσει του νόμου διατήρησης της παραδοξότητας.

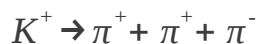


$S=0 \rightarrow S=1-1=0$  ok



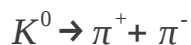
$S=0 \rightarrow S=-1$  ΔΕΝ ΓΙΝΕΤΑΙ

2) Να εξηγηθούν οι αποδιεγέρσεις/αντιδράσεις που συναντήσαμε μέχρι τώρα.

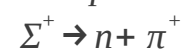
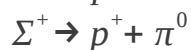
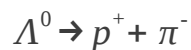


Δεν διατηρείται η παραδοξότητα αλλά αυτό είναι επιτρεπτό στις ασθενείς αλληλεπιδράσεις.

**(Όταν έχουμε νετρίνο έχουμε ασθενείς αλληλεπιδράση, όταν έχουμε σωματίδιο γ έχουμε Η/Μ. Σε άλλες περιπτώσεις πρέπει να λάβουμε υπόψη τον χρόνο ζωής)**



Δεν διατηρείται η παραδοξότητα αλλά αυτό είναι επιτρεπτό στις ασθενείς αλληλεπιδράσεις.



Δεν διατηρείται η παραδοξότητα αλλά αυτό είναι επιτρεπτό στις ασθενείς αλληλεπιδράσεις.

## 3) [εργασία για το σπίτι]

Τα μέλη της δεκαπλέτας αποδιηγείρονται σε χρόνους  $10^{-23}$  s (ισχυρή αλληλεπίδραση) σε ένα μεσόνιο και ένα βαρυόνιο. Να βρεθούν όλοι οι τρόποι αποδιέγερσης για το  $\Delta^-$ ,  $\Sigma^{*+}$  και  $\Xi^{*-}$ . Ποιοι από αυτούς τους τρόπους είναι ενεργειακώς επιτρεπτοί;

Οι τρόποι αποδιέγερσης είναι οι εξής:

$$\Delta^- \longrightarrow n + \pi^- \text{ or } \Sigma^- + K^0$$

$$\Sigma^{*+} \longrightarrow p + \bar{K}^0; \quad \Sigma^+ + \pi^0; \quad \Sigma^+ + \eta; \quad \Sigma^0 + \pi^+; \quad \Lambda + \pi^+; \quad \Xi^0 + K^+$$

$$\Xi^{*-} \longrightarrow \Sigma^0 + K^-; \quad \Sigma^- + \bar{K}^0; \quad \Lambda + K^-; \quad \Xi^0 + \pi^-; \quad \Xi^- + \pi^0; \quad \Xi^- + \eta$$

Από τους παραπάνω τρόπους αποδιέγερσης οι ενεργειακώς επιτρεπτοί είναι:

$$\Delta^- \longrightarrow n + \pi^-$$

$$\Sigma^{*+} \longrightarrow \Sigma^+ + \pi^0; \quad \Sigma^0 + \pi^+; \quad \Lambda + \pi^+$$

$$\Xi^{*-} \longrightarrow \Xi^0 + \pi^-; \quad \Xi^- + \pi^0$$