

## Διάλεξη 21: Αποδιεγέρσεις και αρχές διατήρησης

Στην φυσική στοιχειωδών σωματιδίων η μελέτη των αποδιεγέρσεων και των μηχανισμών παραγωγής σωματιδίων αποτελεί το βασικό σημείο έρευνας. Υπάρχει μια γενική αρχή λοιπόν που διέπει τις αποδιεγέρσεις:

**“Κάθε σωματίδιο αποδιεγείρεται σε ελαφρύτερα σωματίδια εκτός εάν αυτό απαγορεύεται από κάποια αρχή διατήρησης”**. Αυτό δηλαδή μας λέει ότι όλα τα σωματίδια είναι κατά βάση ασταθή προς σχηματισμό ελαφρύτερων σωματιδίων εκτός εάν υπάρχει κάποια αρχή που απαγορεύει την αποδιέγερση αυτή. Το φωτόνιο λοιπόν είναι σταθερό διότι έχει μηδενική μάζα, το ηλεκτρόνιο είναι επίσης σταθερό διότι είναι το ελαφρύτερο φορτισμένο σωματίδιο και επομένως η αρχή διατήρησής του φορτίου απαγορεύει οποιαδήποτε αποδιέγερση. Επίσης το πρωτόνιο είναι σταθερό διότι είναι το ελαφρύτερο βαρυόνιο και επομένως δεν μπορεί να αποδιεγερθεί λόγω της αρχής διατήρησης του βαρυονικού αριθμού.

Στην φύση όλες οι αποδιεγέρσεις πραγματοποιούνται μέσω μίας από τις τρεις αλληλεπιδράσεις: την ισχυρή, την ασθενής ή την H/M. Βέβαια είναι πάρα πολλές οι περιπτώσεις όπου ένα σωματίδιο αποδιεγείρεται κατά ένα ποσοστό μέσω ενός μηχανισμού και κατά ένα άλλο ποσοστό μέσω ενός άλλου μηχανισμού. Είναι λοιπόν βασικό να μπορούμε να προσδιορίσουμε τον μηχανισμό και την υπεύθυνη αλληλεπίδραση για την κάθε αποδιέγερση. Οι πιο απλές περιπτώσεις που μπορούμε άμεσα να συμπεράνουμε την μορφή της αλληλεπίδρασης είναι εκείνες όπου παρατηρούμε ένα σωματίδιο το οποίο αλληλεπιδρά αποκλειστικά με ένα είδος αλληλεπίδρασης. **Έτσι στις περιπτώσεις για παράδειγμα όπου παράγεται ένα η περισσότερα φωτόνια μπορούμε να είμαστε σίγουροι ότι για την αποδιέγερση αυτή υπεύθυνη είναι η H/M αλληλεπίδραση.** Μια άλλη περίπτωση είναι αυτή όπου ένα από τα προϊόντα είναι ένα νεutrino. **Τότε πάλι μπορούμε με σιγουριά να πούμε ότι η υπεύθυνη αλληλεπίδραση είναι η ασθενής αλληλεπίδραση.** Σε διαφορετικές περιπτώσεις θα πρέπει να εφαρμόσουμε πιο σύνθετα κριτήρια. Όπως για παράδειγμα ο παρατηρούμενος χρόνος ημιζωής. **Όσο πιο ισχυρή είναι η αλληλεπίδραση τόσο μικρότερος είναι και ο παρατηρούμενος χρόνος ημιζωής. Έτσι για τις ισχυρές αλληλεπιδράσεις ο χρόνος ημιζωής είναι της τάξης  $10^{-23}$  s, για τις H/M  $10^{-16}$  s, και για τις ασθενείς  $10^{-13}$  s έως 15min.** Συμπεράσματα επίσης για τον μηχανισμό της αποδιέγερσης μπορούν να προκύψουν από τους ήδη γνωστούς νόμους διατήρησης. Έτσι για παράδειγμα σήμερα γνωρίζουμε ότι οι ασθενείς αλληλεπιδράσεις δεν διατηρούν την παραδοξότητα. **Μια αποδιέγερση λοιπόν που παρουσιάζει μεταβολή της παραδοξότητας συμβαίνει μέσω της ασθενούς αλληλεπίδρασης.**

Τώρα, έχει ίσως ενδιαφέρον να δούμε τις βασικότερες αρχές διατήρησης όπως προέκυψαν από την πειραματική παρατήρηση αλλά και από τις θεωρητικές μελέτες. Πριν ξεκινήσει η συζήτηση αυτή καλό είναι να ξεκαθαριστεί από την αρχή **ότι για κάθε αρχή ή νόμο διατήρησης υπάρχει η αντίστοιχη συμμετρία.** Ή για να το πούμε διαφορετικά, **κάθε συμμετρία οδηγεί σε μια αρχή διατήρησης.** Για παράδειγμα, το αναλλοίωτο ως προς την χρονική μετατόπιση αντιστοιχεί στην γνωστή σε όλους μας αρχή διατήρησης της ενέργειας που πολύ απλά μας λέει ότι ένα σωματίδιο δεν μπορεί να αποδιεγερθεί σε ένα βαρύτερο σωματίδιο. Επίσης το αναλλοίωτο ως προς την χωρική μετατόπιση οδηγεί στην αρχή διατήρησης της ορμής και η συμμετρία ως προς την περιστροφή ενός φυσικού συστήματος οδηγεί στην αρχή διατήρησης της στροφορμής. Αυτές οι αρχές διέπουν προφανώς όλες τις αντιδράσεις και τις αποδιεγέρσεις.

Τι ισχύει όμως για την κάθε μορφή αλληλεπίδρασης ξεχωριστά; με άλλα λόγια τι ισχύει για έναν κόμβο ισχυρής, ασθενούς και H/M αλληλεπίδρασης;

Μια από τις βασικότερες αρχές διατήρησης είναι αυτή της **διατήρησης του φορτίου** που σημαίνει ότι κατά την αποδιέγερση ή μια οποιαδήποτε αντίδραση το φορτίο πριν και μετά την αποδιέγερση θα πρέπει να είναι το ίδιο. Προφανώς η αρχή αυτή διέπει και τα τρία είδη αλληλεπιδράσεων.

Μια δεύτερη αρχή που επίσης διέπει και τα τρία είδη αλληλεπιδράσεων είναι αυτή της **διατήρησης του βαρυονικού αριθμού**. Δηλαδή ο βαρυονικός αριθμός πριν και μετά την αποδιέγερση θα πρέπει να είναι ο ίδιος. Το ίδιο ισχύει και για τους τρεις λεπτονικούς αριθμούς. **Ο κάθε λεπτονικός αριθμός να διατηρείται** σε κάθε αποδιέγερση. Μάλιστα οι τρεις λεπτονικοί αριθμοί διατηρούνται ο καθένας ξεχωριστά. Φαίνεται δηλαδή ότι δεν υπάρχει αντίδραση όπου από την μια γενιά λεπτόνιων περνάμε στην άλλη. Σε αυτό το σημείο όμως θα πρέπει τουλάχιστον να σας αναφέρω ότι υπάρχει περίπτωση να έχουμε μεταβάσεις από την μια γενιά λεπτονίων στην άλλη σε ένα φαινόμενο το οποίο έχει δοθεί η ονομασία "ταλαντώσεις νετρίνων"(Nobel prize for Physics, 2015).

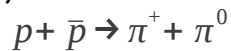
Μια άλλη αρχή διατήρησης που αξίζει να αναφερθεί είναι αυτή της διατήρησης της γεύσης – του είδους δηλαδή των κουάρκ που αλληλεπιδρούν. **Πράγματι η H/M και η ισχυρή αλληλεπίδραση δεν μεταβάλλουν το είδος του κουάρκ** που συμμετέχει στην φυσική διαδικασία. Δεν ισχύει όμως το ίδιο για την περίπτωση των ασθενών αλληλεπιδράσεων. **Στην περίπτωση των ασθενών αλληλεπιδράσεων** αναφέρθηκε ήδη ότι **η παραδοξότητα μπορεί να μη διατηρείται**. Αυτό γίνεται απλούστατα όταν ένα s κουάρκ μετατρέπεται σε ένα άλλο κουάρκ οπότε αντίστοιχα η παραδοξότητα μεταβάλλεται.

Αξίζει να αναφερθεί τι γίνεται με το χρώμα των κουάρκ όπως ακριβώς συζητήσαμε για το φορτίο προηγουμένως. Το χρώμα λοιπόν των κουάρκ δεν μεταβάλλεται στις ασθενείς και τις H/M αλληλεπιδράσεις αλλά στις ισχυρές είδαμε ότι τα γλουόνια αλλάζουν το χρώμα των κουάρκ. Δηλαδή τα γλουόνια μεταφέρουν χρώμα. Προσοχή όμως! Σε μια αποδιέγερση άσχετα με τον αν αυτή γίνει με ισχυρή, ασθενή ή H/M αλληλεπίδραση το χρώμα διατηρείται μέσω ενός εξαιρετικά απλού κανόνα. **Το σωματίδια που αντιδρούν ή διασπώνται είναι άχρωμα όπως επίσης και τα προϊόντα τους**. Δηλαδή σε οποιαδήποτε αντίδραση ή αποδιέγερση έχουμε μηδενικό χρώμα στην είσοδο και μηδενικό χρώμα στην έξοδο.

## Παραδείγματα

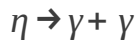
Ελέγξτε ποιες αντιδράσεις είναι πιθανές και ποιες όχι αλλά και το είδος της αλληλεπίδρασης.

1)



αδύνατο να συμβεί, το φορτίο δεν διατηρείται

2)



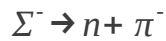
$\eta$  – μεσόνιο

$B=0 \mid B=0$

$S=0 \mid S=0$

Είναι πιθανή και εφόσον περιέχονται φωτόνια η αλληλεπίδραση είναι Η/Μ

3)



$S=-1 \mid S=0$

$B=1 \mid B=1$

$Q=-1 \mid Q=-1$

Είναι πιθανή και εφόσον παραβιάζεται η παραδοξότητα είναι ασθενής αλληλεπίδραση

4)

$S=0 \mid S=0$

$B=0 \mid B=0$

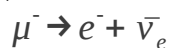
$Q=0 \mid Q=0$

$L_e=0 \mid L_e=0$

$L_\mu=0 \mid L_\mu=0$

Είναι πιθανή παρά το γεγονός ότι καταλήγει σε βαρύτερα σωματίδια διότι μπορεί η κιν. ενέργεια να είναι αρκετή ώστε να μετατραπεί σε μάζα. Το ηλεκτρόνιο μαζί με το ποζιτρόνιο εξαϋλώνονται μέσω της Η/Μ αλληλεπίδρασης δημιουργώντας ένα φωτόνιο το οποίο με την σειρά του σχηματίζει δύο μύονια.

5)



$Q=-1 \mid Q=-1$

$L_e=0 \mid L_e=0$

$L_\mu=-1 \mid L_\mu=0$

Δεν γίνεται διότι παραβιάζεται ο μιονικός λεπτονικός αριθμός

6)

$$\Delta^+ \rightarrow p + \pi^0$$

$$S=0 \mid S=0$$

$$B=1 \mid B=1$$

$$Q=1 \mid Q=1$$

Είναι δυνατόν να γίνει. Είναι μια αποδιέγερση που μπορεί να γίνει τόσο μέσω της ισχυρής αλληλεπίδρασης όσο και μέσω της ασθενούς αλλά από το γεγονός ότι η ισχυρή είναι κατά πολύ ισχυρότερη της ασθενούς στην πραγματικότητα αυτή η αποδιέγερση προχωρά σχεδόν αποκλειστικά μέσω της ισχυρής αλληλεπίδρασης. Το ίδιο συμπερνούμε και από τον χρόνο ημιζωής του σωματιδίου  $\Delta^+$  ( $T_{1/2}=5.6 \cdot 10^{-24}$  s).

7)

$$\bar{\nu}_e + p \rightarrow n + e^+$$

$$Q=1 \mid Q=1$$

$$Le=-1 \mid Le=-1$$

$$B=1 \mid B=1$$

Είναι δυνατόν να γίνει. Από το γεγονός ότι στα αντιδρώντα περιέχεται ένα νεutrino συμπεραίνουμε ότι υπεύθυνη αλληλεπίδραση είναι η ασθενής.

8)

$$e + p \rightarrow \nu_e + \pi^0$$

$$B=1 \mid B=0$$

Παραβιάζεται ο βαρυονικός αριθμός

9)

$$p + p \rightarrow \Sigma^+ + n + K^0 + \pi^+ + \pi^0$$

$$S=0 \mid S=1 -1 =0$$

$$B=2 \mid B=2$$

$$Q=2 \mid Q=2$$

Γίνεται μέσω της ισχυρής αλληλεπίδρασης.