

STANDARD MODEL

ΟΡΙΣΜΟΣ:

Το Καθιερωμένο Πρότυπο (Standard Model) είναι η φυσική θεωρία που περιγράφει τα δομικά συστατικά της ύλης και τις μεταξύ τους ισχυρές, ασθενείς και ηλεκτρομαγνητικές αλληλεπιδράσεις. Δεν περιλαμβάνει καμία περιγραφή των βαρυτικών αλληλεπιδράσεων.

ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΣΧΟΛΙΑ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟ STANDARD MODEL:

Πρόκειται για μια πολύ καλά θεμελιωμένη θεωρία που έχει προβλέψει αρκετά πειραματικά αποτελέσματα, όπως την ύπαρξη πολλών σωματιδίων και έχει ανταπεξέλθει σε πάρα πολλούς πειραματικούς ελέγχους.

Κατά τη Σωματιδιακή Φυσική (standard model) στοιχειώδες σωματίδιο χαρακτηρίζεται το μικρότερο δομικό σωματίδιο της ύλης που έχει ανακαλυφθεί και που δεν διαιρείται περαιτέρω, τουλάχιστον με τα σημερινά δεδομένα σε ακόμη μικρότερα. Τα στοιχειώδη σωματίδια αποτελούν τα δομικά υλικά όλων των άλλων σωματίων (υποατομικών).

Τα στοιχειώδη σωματίδια, για τη πληρέστερη μελέτη τους, κατατάχθηκαν σε δυο κύριες κατηγορίες:

- τα μποζόνια και
- τα φερμιόνια

ΦΕΡΜΙΟΝΙΑ:

Τα Φερμιόνια είναι στοιχειώδη σωματίδια, με την χαρακτηριστική ιδιότητα να σχηματίζουν πλήρως

αντισυμμετρικές σύνθετες κβαντικές καταστάσεις και χωρίζονται στα λεπτόνια και τα κουάρκς.

➤ Τα λεπτόνια είναι θεμελιώδη σωματίδια, τα οποία δεν μετέχουν σε ισχυρές αλληλεπιδράσεις. Υπάρχουν δυο κύριες κατηγορίες λεπτονίων: τα φορτισμένα και τα ουδέτερα λεπτόνια πιο γνωστά ως νετρίνα λεπτονίων. Σύμφωνα με αυτές καταλήγουμε στα ηλεκτρόνια, τα ποζιτρόνια, τα μίονια, τα αντιμίονια, τα ταυ και τα αντίταυ.

➤ Τα κουάρκ που είναι τα up, down, charm, strange, top και bottom θεωρούνται σήμερα βασικοί τύποι των στοιχειωδών σωματιδίων της ύλης.



Τα αδρόνια: αποτελούνται από κουάρκ και αυτά με τη σειρά τους χωρίζονται σε μεσόνια και βαρυόνια. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα βαρυόνια είναι φερμιόνια, σε αντίθεση με τα μεσόνια που είναι μποζόνια.

➤ τα βαρυόνια είναι υποατομικά σωματίδια τα οποία δημιουργούνται με συνδυασμούς τριών κουάρκ και έχουν βαρυονικό αριθμό $B=1$. Τα βαρυόνια διακρίνονται στα πρωτόνια, που αποτελούνται από δύο up και ένα down, τα αντιπρωτόνια, από δύο άντιup και ένα άντιdown, τα νετρόνια, από ένα up και δύο down, τα λάμδα, από ένα up, ένα down και ένα strange και τα ωμέγα, από τρία strange, ενώ

➤ Τα μεσόνια είναι αδρόνια που αποτελούνται από ένα κουάρκ και ένα αντικουάρκ και έχουν βαρυονικό αριθμό

$B=0$. Τα μεσόνια διακρίνονται στα ρ ιον, που αποτελούνται από ένα up και ένα άντιdown, τα kaon, από ένα strange και ένα άντιup, τα η ο, από ένα up και ένα άντιdown, τα B-zero από ένα down και ένα άντιbottom και τα eta-c από ένα charm και ένα άντιcharm.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα βαρυόνια είναι φερμιόνια, σε αντίθεση με τα μεσόνια που είναι μποζόνια.

ΜΠΟΖΟΝΙΑ:

Ένα μποζόνιο είναι ένα σωματίο το οποίο ακολουθεί τη στατιστική Μποσ-Αϊνστάιν. Τα μποζόνια από το θεώρημα σπιν-στατιστικής είναι σωματίδια που έχουν ακέραιο σπιν (Στην φυσική το σπιν είναι η ιδιοστροφορμή των σωματιδίων. Πρόκειται για μια κβαντομηχανική ιδιότητα χωρίς αναλογία στην κλασική μηχανική). Στη φύση υπάρχουν στοιχειώδη σωματίδια που είναι μποζόνια, αλλά και σύνθετα των οποίων το ολικό σπιν είναι ακέραιο. Επίσης χωρίζονται στους φορείς και το βαθμωτό. Οι φορείς χωρίζονται σε 2 κατηγορίες.

➤ Η πρώτη είναι τα Φωτόνια (γ) που έχουν ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση. Αποτελούνται από 2 υποκατηγορίες: το μποζόνιο W (W^{\pm}) με ασθενή αλληλεπίδραση και το μποζόνιο Z (Z^0) με επίσης ασθενή αλληλεπίδραση.

➤ Η δεύτερη είναι τα γλουόνια (g) που έχουν ισχυρή αλληλεπίδραση. Το βαθμωτό, γνωστό και ως σωματίδιο Χιγκς, είναι ένα μποζόνιο που, προβλέπεται θεωρητικά από το Καθιερωμένο Πρότυπο και θεωρείται πως έχει ήδη ανακαλυφθεί πειραματικά στα πειράματα ATLAS και CMS του επιταχυντή LHC του CERN.

ΟΙ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ:

Βαρυτική αλληλεπίδραση: Είναι η δύναμη που ασκείται μεταξύ όλων των σωμάτων και είναι πάντοτε ελκτική. Ενεργεί στη μάζα και στην ενέργεια. Όλα τα σωματίδια τη βιώνουν και σωματίδιο φορέας (δηλαδή που μεσολαβεί) είναι το βαρυόνιο το οποίο είναι υποθετικό. Η σταθερά σύζευξης της σχετικής ισχύος (η οποία χρησιμοποιείτε για την σύγκριση των σχετικών ισχύων των τεσσάρων θεμελιωδών δυνάμεων) είναι 10^{-39} και η εμβέλεια άπειρη.

Ασθενής πυρηνική αλληλεπίδραση: είναι σχετικά πολύ ασθενής αλληλεπίδραση και συνήθως προλαμβάνεται, χρονικά, από τις ηλεκτρομαγνητικές και ισχυρές αλληλεπιδράσεις, εκτός κι αν αυτές απαγορεύονται από τους νόμους διατήρησης κβαντικών αριθμών (ομοτιμίας, γεύσης, ισοτοπικού σπιν κλπ). Ενεργεί στη γεύση. Τη βιώνουν τα Λεπτόνια και τα Κουάρκ και σωματίδια φορείς είναι τα Μποζόνια W^+, W^-, Z^0 . Η σταθερά σύζευξης της σχετικής ισχύος είναι 10^{-6} και η εμβέλεια 10^{-18} m. Όταν τα θεμελιώδη σωματίδια διασπώνται το σωματίδιο εξαφανίζεται και αντικαθίσταται από δύο ή περισσότερα διαφορετικά σωματίδια. Μολονότι η ολική ενέργεια και μάζα διατηρούνται, ένα μέρος της μάζας του αρχικού σωματιδίου μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια, ενώ τα παραγόμενα σωματίδια έχουν, πάντα, συνολικά μικρότερη μάζα από την μάζα του αρχικού σωματιδίου που διασπάται.

Οι παρουσιαζόμενες ασθενείς αλληλεπιδράσεις περιλαμβάνουν νετρίνα ή αντινετρίνα (με μηδενικό φορτίο και "ισχυρό" φορτίο) ή κουάρκ με αλλαγή γεύσης, που απαγορεύονται από τις ισχυρές και ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις.

Ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση: ένα φορτίο (ή μάζα) δημιουργεί πεδίο το οποίο εξασκεί δύναμη σε ένα άλλο υπόθεμα. Η δύναμη F είναι ανάλογη με το γινόμενο $Q_1 \cdot Q_2$ και αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης τους. Ενεργεί στο ηλεκτρικό φορτίο. Τη βιώνουν τα ηλεκτρικά φορτισμένα σωματίδια και σωματίδιο φορέας είναι το φωτόνιο. Η σταθερά σύζευξης της σχετικής ισχύος είναι $1/137$ και η εμβέλεια άπειρη.

Σήμερα θεωρούμε ότι ανάμεσα στα φορτία έχουμε ανταλλαγή δυνητικών (virtual) ή φανταστικών φωτονίων με ορμή p μέσα σε χρόνο Δt . Τα φανταστικά φωτόνια καλύπτονται από το νόμο της απροσδιοριστίας. Αφού δηλαδή το φωτόνιο δανείστηκε ένα ποσό ενέργειας ΔE , ζει για ένα πολύ μικρό χρόνο Δt , που καθορίζεται από την αρχή της απροσδιοριστίας. Ακολούθως το φωτόνιο επιστρέφει την ποσότητα της ενέργειας που δανείστηκε και εξαφανίζεται.

Κάθε ανταλλασσόμενο virtual φωτόνιο προκαλεί μεταφορά ορμής Δp . Με την μεταφορά της ορμής, δημιουργεί μια δύναμη f που αλληλεπιδρούν τα φορτία. Αυτή την αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο φορτίων, την αναλαμβάνει το σωματίδιο-φορέας. Για κάθε αλληλεπίδραση υπάρχει ένας ή περισσότεροι φορείς, των οποίων η ανταλλαγή κάνει τα σωματίδια να "αισθάνονται" την αλληλεπίδραση. Για την ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση ο φορέας αυτός είναι το φωτόνιο.

Ισχυρή πυρινική αλληλεπίδραση : Ενεργεί στο χρώμα. Στη θεμελιώδη τη βιώνουν τα Γλουόνια και τα Κουάρκ και σωματίδια φορείς είναι τα Γλουόνια. Στην υπολειπόμενη τη βιώνουν τα αδρόνια και σωματίδια φορείς είναι τα μεσόνια. Η σταθερά σύζευξης της σχετικής ισχύος είναι 1 και η εμβέλεια 10^{-15} m.

Βασικό σωματίδιο ανταλλαγής των ισχυρών δυνάμεων είναι το γκλουόνιο, που είναι ο φορέας της ισχυρής δύναμης μεταξύ των κουάρκ. Η ιδιότητα των

γκλουονίων να μετατρέπονται σε ζεύγη κουάρκ και αντικουάρκ, κάνει το πρωτόνιο να είναι γεμάτο από κουάρκ, αντικουάρκ και γκλουόνια. Όταν δούμε κάτι να εξέρχεται από ένα πρωτόνιο ή ένα νετρόνιο, τότε αυτό είναι ένα ζευγάρι κουάρκ-αντικουάρκ. Αυτό το ζευγάρι κουάρκ-αντικουάρκ είναι το πιόνιο και από τη μάζα του μπορούμε να βρούμε την περιοχή δράσης των ισχυρών δυνάμεων.

Σύμφωνα με τη θεωρία της Κβαντικής Χρωμοδυναμικής (QCD), η ισχυρή δύναμη δεν αναπτύσσεται ανάμεσα σε κουάρκ με διαφορετικά χρώματα.

Τα κουάρκ εκπέμπουν και απορροφούν γκλουόνια πολύ συχνά μέσα σε ένα αδρόνιο σε σημείο που είναι αδύνατο να παρατηρήσει κανείς το χρώμα ενός συγκεκριμένου κουάρκ. Μέσα σ' ένα αδρόνιο το χρώμα των δύο κουάρκ που ανταλλάσσουν το γκλουόνιο θα αλλάξει με τέτοιο τρόπο που κρατά το σύστημα σε χρωματικά ουδέτερη κατάσταση.

Η ισχυρή δύναμη μεταξύ των κουάρκ ενός πρωτονίου με τα κουάρκ ενός άλλου πρωτονίου είναι συντριπτικά ισχυρότερη από την ηλεκτρομαγνητική δύναμη με αποτέλεσμα να αναπτύσσονται ελκτικές δυνάμεις ανάμεσα στα νουκλεόνια.