

Αντιδράσεις Νετρίνων

Σε συντομία οι τρόποι με τους οποίους τα νετρίνα αλληλεπιδρούν με την ύλη.

- Αντιδράσεις ουδετέρων ρευμάτων:
 - μέσω ενός μποζονίου Z
- Αντιδράσεις φορτισμένων ρευμάτων
 - μέσω ενός μποζονίου $W^\pm$ και παραγωγή φορτισμένου σωματιδίου.
-
- Σύμφωνα με το σωματίδιο στόχου:
 - Ατομικό ηλεκτρόνιο
 - Νουκλεόνιο του πυρήνα.

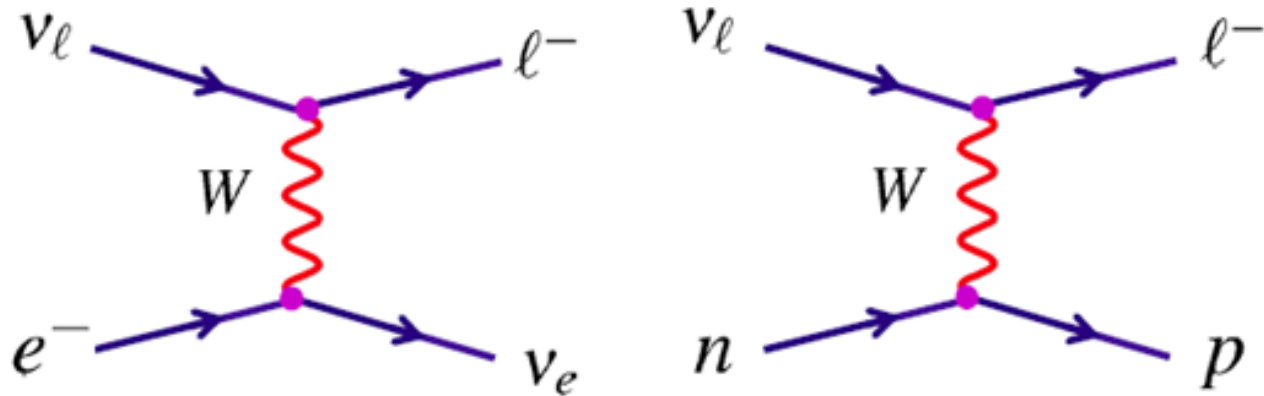
Αντίδραση Φορτισμένου ρεύματος

- Στα διαγράμματα σημειώστε W^-

-

-

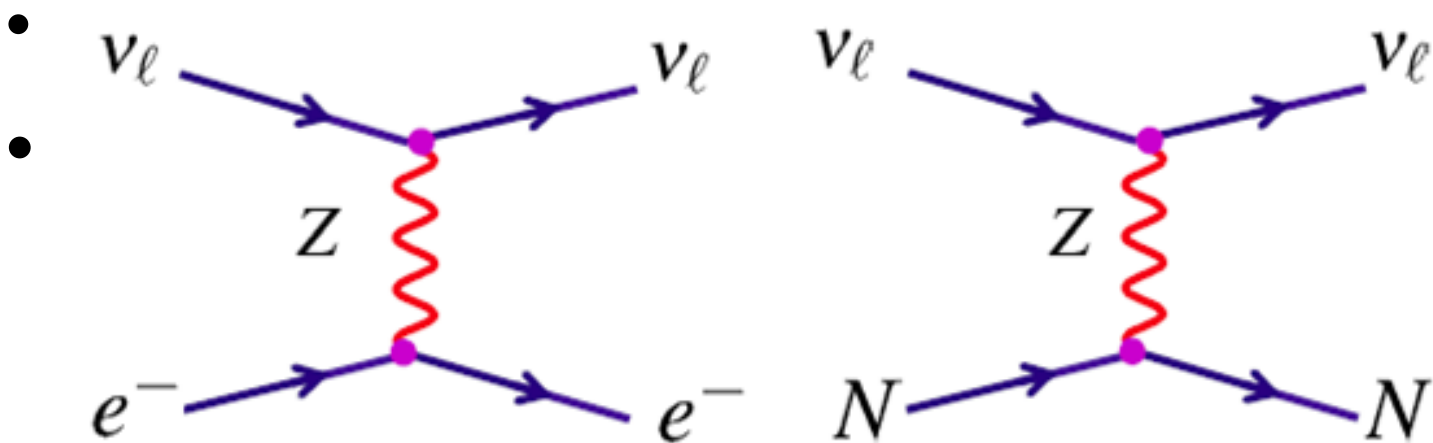
-



- Το τελικό λεπτόνιο ℓ^- είναι της ίδιας οικογένειας με το αρχικό νευτρίνο ν_ℓ .

Αντιδράσεις Ουδέτερου ρεύματος.

- Η αλληλεπίδραση γίνεται μέσω ενός ουδέτερου μποζονίου Z^0 . Το νευτρίνο ν_l εμφανίζεται στη τελική κατάσταση.



- Η μέθοδος ανίχνευσης εξαρτάται από την ενέργεια και το άρωμα του νευτρίνου.

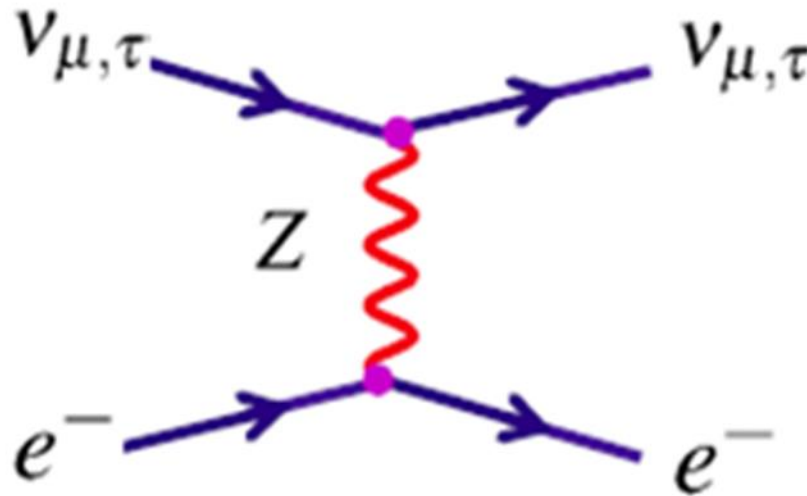
Ηλιακά νετρίνα

Τα ηλιακά νετρίνα έχουν ενέργεια τάξης $E \approx 1 \text{ MeV}$

Τα κοσμικά έχουν ενέργεια $E \approx 1 \text{ GeV}$

Όταν οι αρχικές ενέργειες των νετρίνων είναι χαμηλές, δεν είναι επιτρεπτές οι αντιδράσεις, όπου χρειάζεται να παραχθεί ένα λεπτόνιο μεγάλης μάζας.

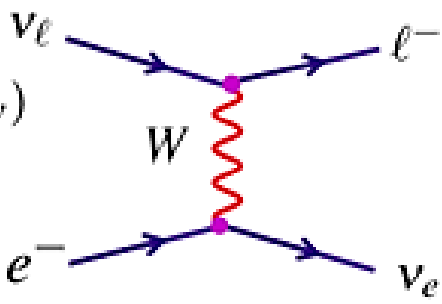
Αντιδράσεις φορτισμένων ρευμάτων σε *ατομικά ηλεκτρόνια*.



Στο δεξί μέρος του διαγράμματος εμφανίζεται το αντίστοιχο φορτισμένο λεπτόνιο. δηλ αν πέφτει ν_e τότε παράγεται e^- αν ν_μ παράγεται μ , αν ν_τ παράγεται τ

Αντιδράσεις φορτισμένων ρευμάτων σε ατομικά ηλεκτρόνια (Σύστημα εργαστηρίου)

- Το νευτρίνο πρέπει να έχει αρκετή ενέργεια για να δημιουργήσει την μάζα του λεπτονίου. Ο υπολογισμός δίνει :

- 

$$p_\nu = (E_\nu, 0, 0, E_\nu)$$

$$p_e = (m_e, 0, 0, 0)$$

$$s = (p_\nu + p_e)^2 = (E_\nu + m_e)^2 - E_\nu^2$$

Require: $s > m_\ell^2$

$$\Rightarrow E_\nu > \left[\left(\frac{m_\ell}{m_e} \right)^2 - 1 \right] \frac{m_e}{2}$$

$$\nu_e + e^- \rightarrow e^- + \nu_e$$

$$\nu_\mu + e^- \rightarrow \mu^- + \nu_e$$

$$\nu_\tau + e^- \rightarrow \tau^- + \nu_e$$

Με αριθμητική αντικατάσταση υπολογίζουμε το κατώφλι ενέργειας. :

$$E_{\nu_e} > 0$$

$$E_{\nu_\mu} > 11 \text{ GeV}$$

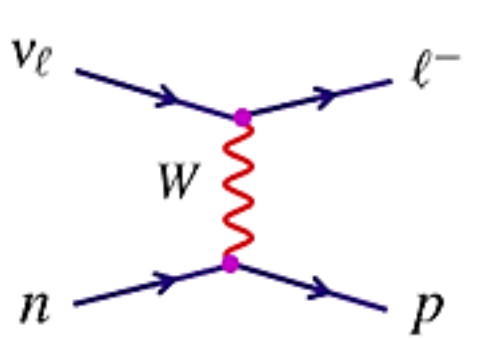
$$E_{\nu_\tau} > 3090 \text{ GeV}$$

Αντιδράσεις φορτισμένων ρευμάτων σε νουκλεόνια.

(Σύστημα εργαστηρίου)

- Οι συνθήκες είναι πιο ευνοϊκές λόγω της μάζας του νουκλεονίου. ($s^2 = 2m_n E_v$).
- Οι διατομές εξαρτώνται από τις συναρτήσεις δομής των νουκλεονίων.
- Για νετρόνια:

Για ν_e αναγνωρίζουμε την αντίστροφη της διάσπασης β .



The diagram shows a neutrino ν_ℓ and a neutron n interacting via a W boson (represented by a red wavy line) to produce a lepton ℓ^- and a proton p . The interaction vertices are marked with pink dots.

$$s = (p_\nu + p_n)^2 = (E_\nu + m_n)^2 - E_\nu^2$$

Require: $s > (m_\ell + m_p)^2$

$$\rightarrow E_\nu > \frac{(m_p^2 - m_n^2) + m_\ell^2 + 2m_p m_\ell}{2m_n}$$

$$\nu_e + n \rightarrow e^- + p \leftarrow \text{αντίστροφη } \beta$$

$$\nu_\mu + n \rightarrow \mu^- + p$$

$$\nu_\tau + n \rightarrow \tau^- + p$$

Αντιδράσεις φορτισμένων ρευμάτων σε νουκλεόνια.

- Υπολογίζουμε το κατώφλι ενέργειας :

- $$E_{\nu_e} > 0 \qquad E_{\nu_\mu} > 110 \text{ MeV} \qquad E_{\nu_\tau} > 3.5 \text{ GeV}$$

- Τα ηλεκτρονικά νετρίνα από τον ήλιο ή από αντιδραστήρες με ενέργεια $E \sim 1 \text{ MeV}$ που ταλαντώνονται σε μιονικά, δεν μπορούν να αντιδράσουν επειδή δεν έχουν την απαραίτητη ενέργεια να παράγουν μίονια και “εξαφανίζονται”.

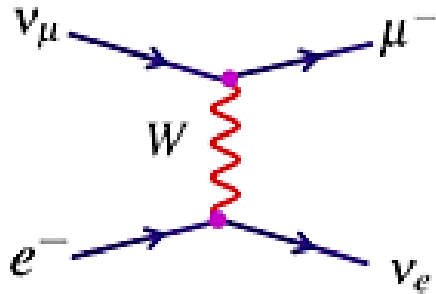
- $(\nu_e \rightarrow \nu_\mu \text{ και } E_{\nu_\mu} < 110 \text{ MeV})$.

- Τα μιονικά νετρίνα που ταλαντώνονται σε νετρίνα ταυ επίσης εξαφανίζονται.

- Τα περισσότερα πειράματα είναι πειράματα εξαφάνισης (εκτός από το SNO) γιατί η ενέργεια στο σύστημα K.M , είναι κάτω από το κατώφλι για παραγωγή λεπτονίου με διαφορετικό άρωμα όπως φαίνεται στα προηγούμενα.

Ενεργές διατομές.

- Για μιονικά νετρίνα υψηλής ενέργειας ισχύει :
- Η ενεργός διατομή αυξάνεται γραμμικά με την ενέργεια εργαστηρίου.



$$\sigma_{\nu_\mu e^-} = \frac{G_F^2 s}{\pi}$$

with $s = (E_\nu + m_e)^2 - E_\nu^2 \approx 2m_e E_\nu$

$$\sigma_{\nu_\mu e^-} = \frac{2m_e G_F^2 E_\nu}{\pi}$$

Cross section increases linearly with lab. frame neutrino energy