

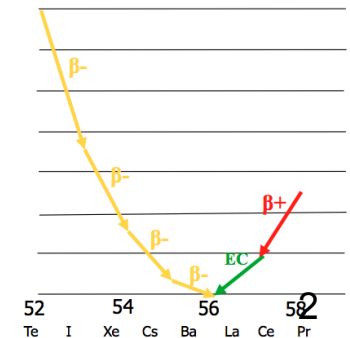
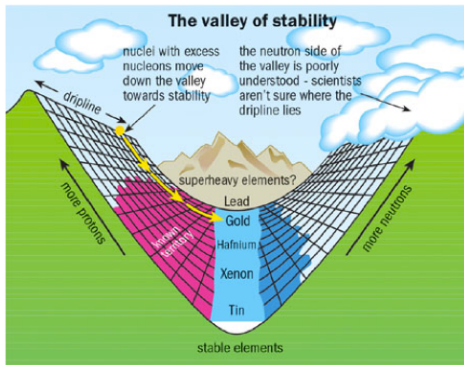
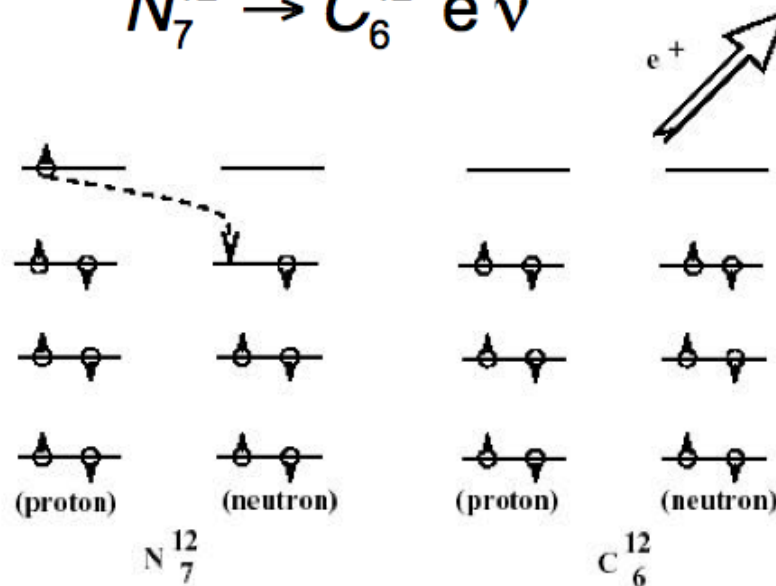
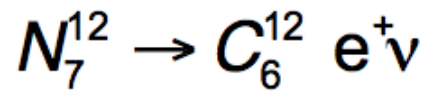
β - διάσπαση

Δήμος Σαμψωνίδης

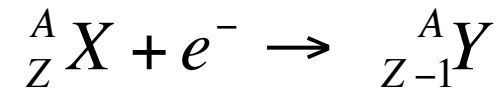
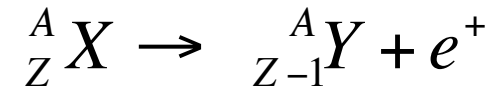
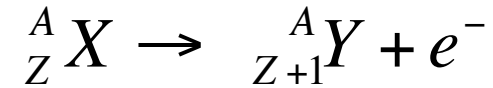
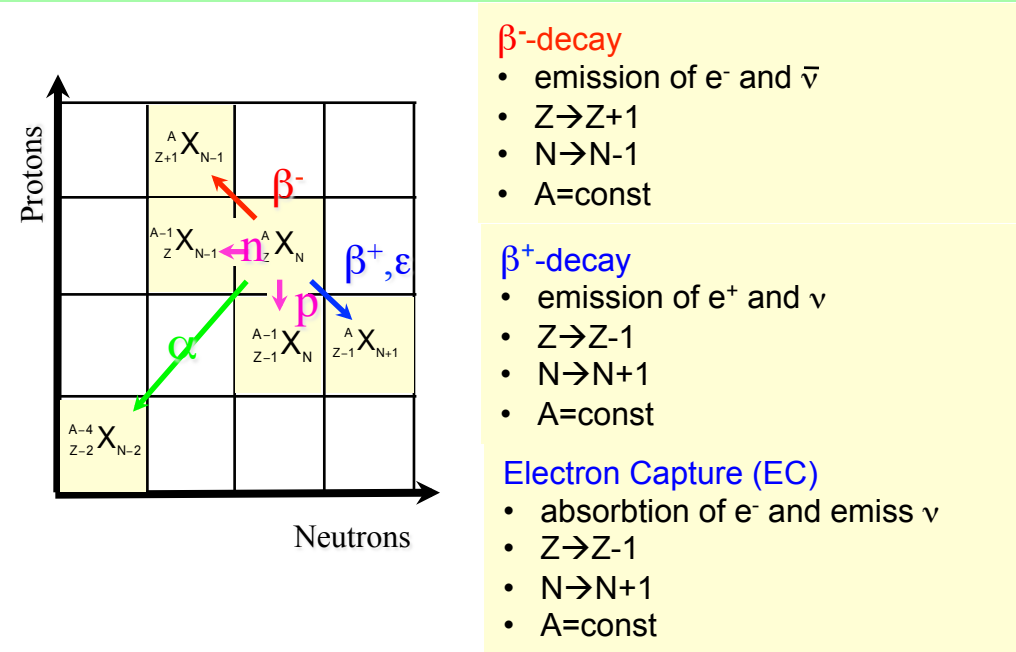
(29-11-2016)

β - διάσπαση

Βήτα διάσπαση (εκπομπή e^+) είναι ένας μηχανισμός αποκατάστασης της συμμετρίας πρωτονίων-νετρονίων (και πυρηνικής μάζας) με τη μετατροπή ενός πρωτονίου σε νετρόνιο (και τούμπαλιν)



β - διάσπαση



$$|\Delta Z|=1 \text{ \& } \Delta A=0$$

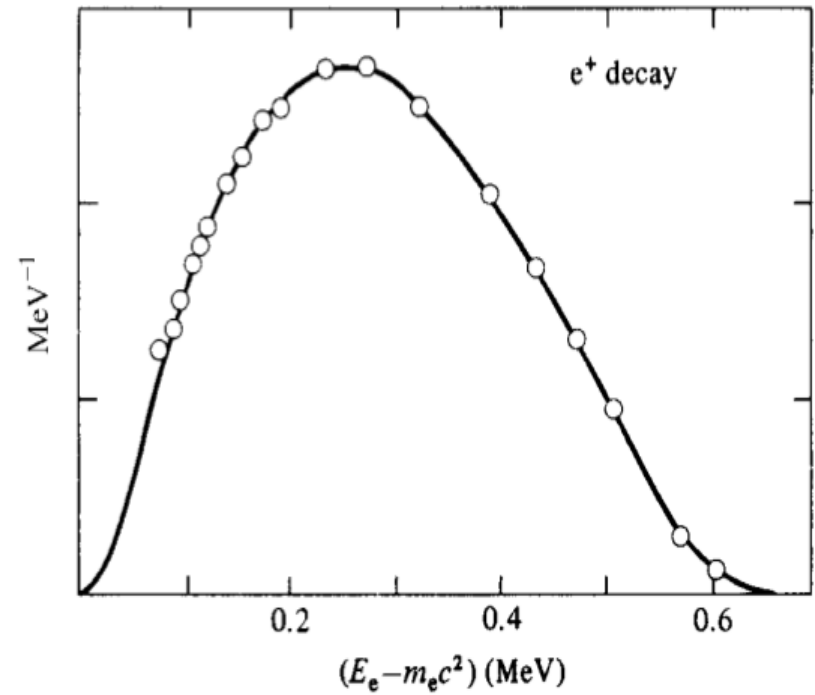
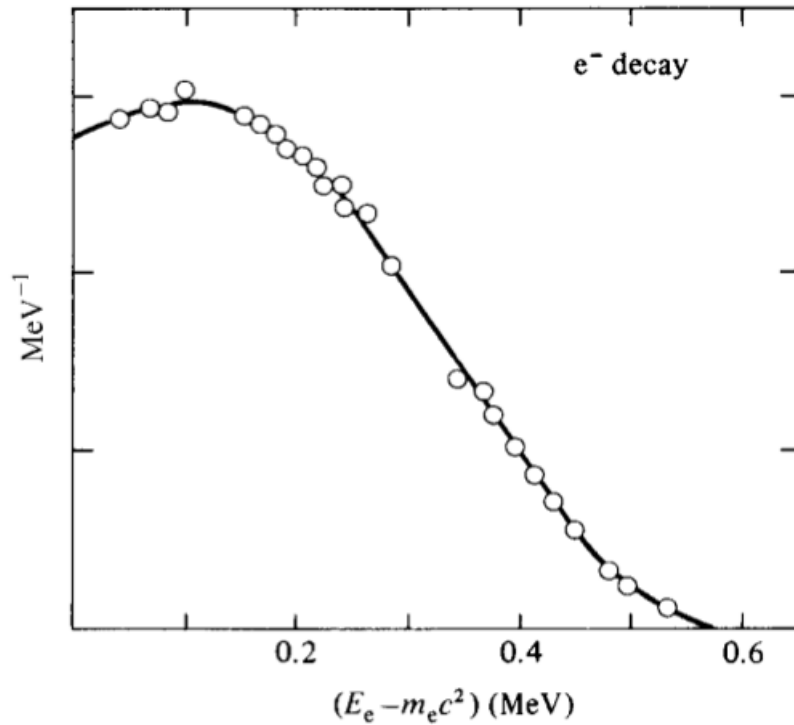
β⁻ : ηλεκτρόνια

β⁺: ποζιτρόνια (1932, Anderson)

Αρπαγή (1937, Alvarez)

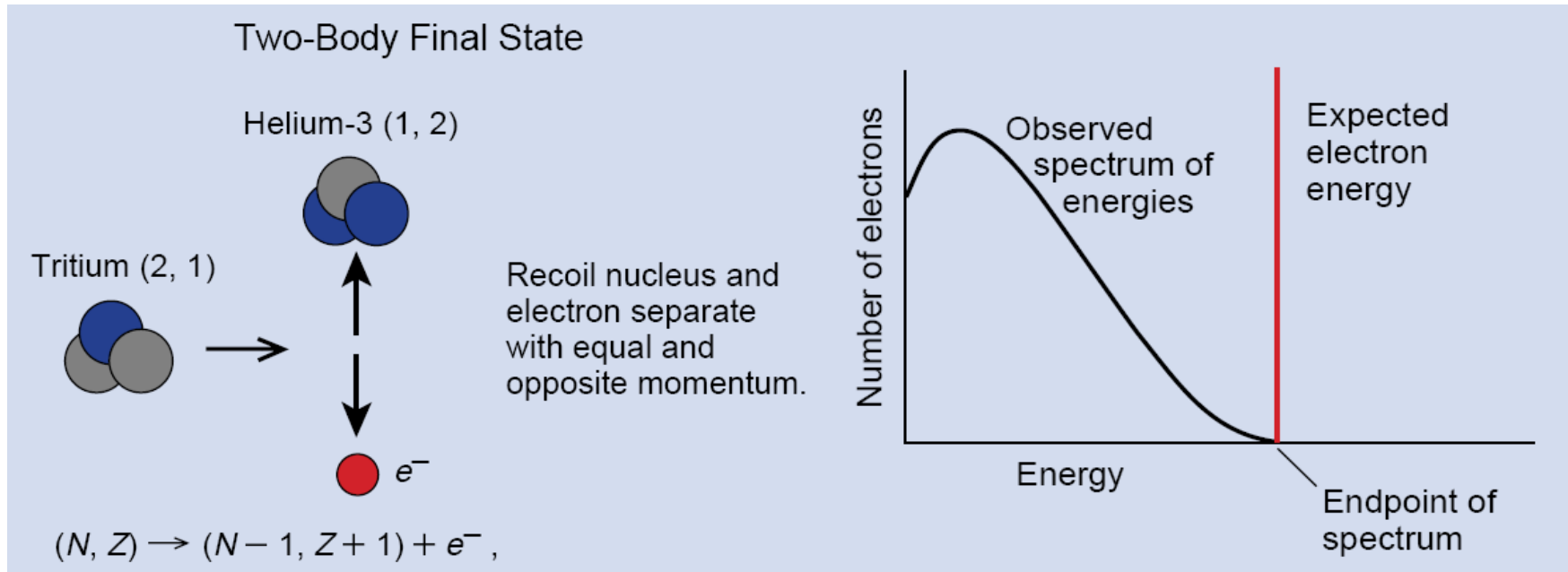
Διατήρηση φορτίου : OK

β - διάσπαση



Ενεργειακά φάσματα ηλεκτρονίου και ποζιτρονίου κατά τη β -διάσπαση ^{64}Cu

β-διάσπαση



$$E_e = \Delta M = M(Z, A) - M(Z+1, A)$$

? Διατήρηση ενέργειας

? Τα e δεν υπάρχουν στον πυρήνα ($\Delta x \Delta p \geq \hbar$), από πού προέρχονται

? Διατήρηση στροφορμής ($\Delta A = 0$, $spin(n, p \text{ \& } e) = \hbar/2$)

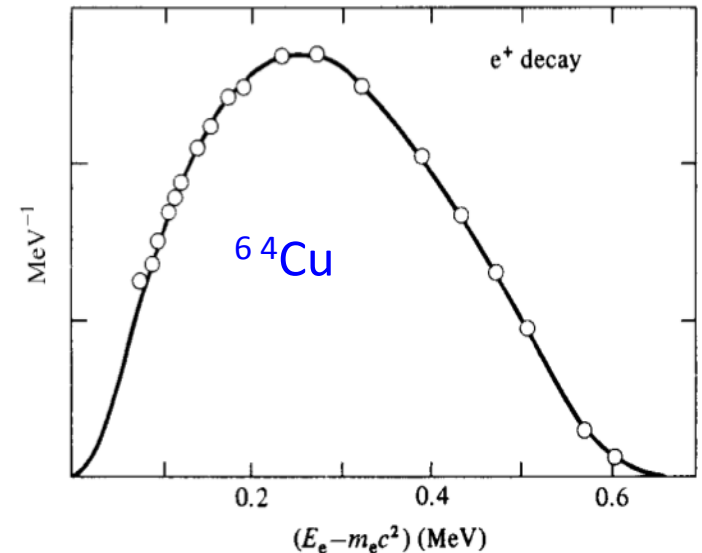
Ηλεκτρόνια στον πυρήνα

- Αν τα ηλεκτρόνια υπήρχαν μέσα στον πυρήνα και απλά προσπαθούν να βγουν:
- Η ορμή τους θα είχε μιά αβεβαιότητα Δp της τάξης $\Delta x \Delta p \geq \hbar \rightarrow \Delta p \geq \hbar / \Delta x$ όπου Δx = οι διαστάσεις του πυρήνα $\sim R$ ($R = 1.1 \text{ fm} \cdot A^{1/3} = 4.4 \text{ fm}$, για ^{64}Cu)

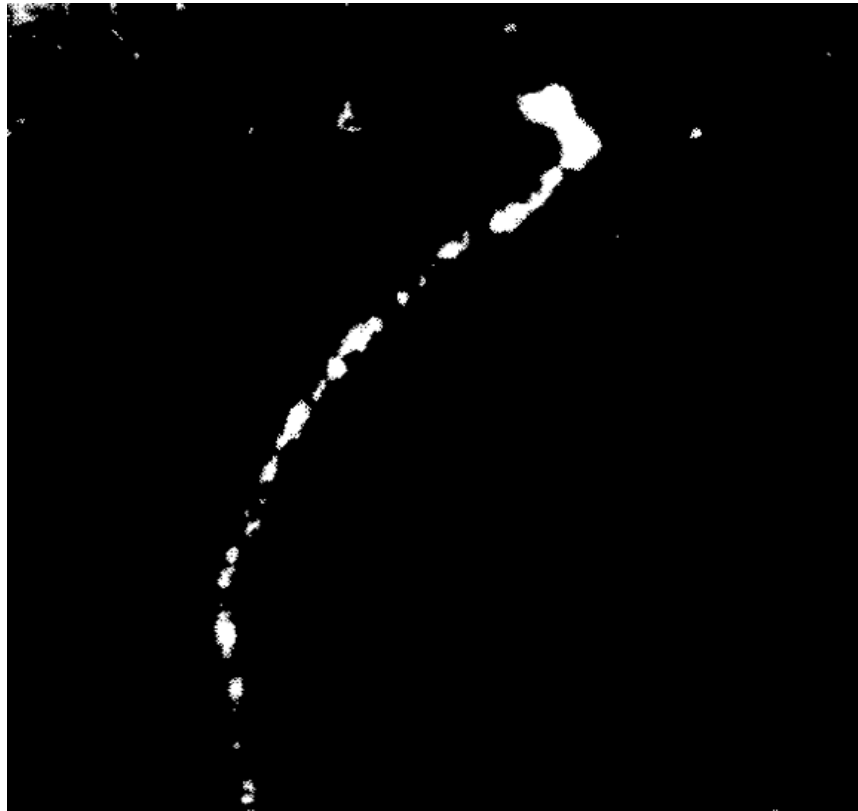
$$\Delta p \geq \frac{\hbar}{R} = \frac{\hbar c}{Rc} = \frac{197 \text{ MeV fm}}{4.4 \text{ fm} c} \approx 45 \text{ MeV} / c$$

→ Άρα, η ορμή (και η κινητική ενέργεια) τέτοιων ηλεκτρονίων θα έπρεπε να “παίζει” κατά $\pm 45 \text{ MeV}$.

- Οπότε κάποια από αυτά θα είχαν κινητικές ενέργειες πολύ μεγαλύτερες από το $\sim 1 \text{ MeV}$ μέγιστο που βλέπουμε...
→ άρα η αρχική υπόθεση ότι τα ηλεκτρόνια υπήρχαν μέσα στον πυρήνα ΔΕΝ είναι καλή → “κβαντομηχανική άρνηση”
- Από πού προέρχονται λοιπόν τα ηλεκτρόνια της β -διάσπασης;



β - διάσπαση



Φωτογραφία –β διάσπασης του ${}^6\text{He}$ απο θάλαμο ιχνών.
Τα ιχνη αντιστοιχούν στο ηλεκτρόνιο της διάσπασης και στον ανακρουόμενο πυρήνα (δεν είναι back to back).

β-διάσπαση

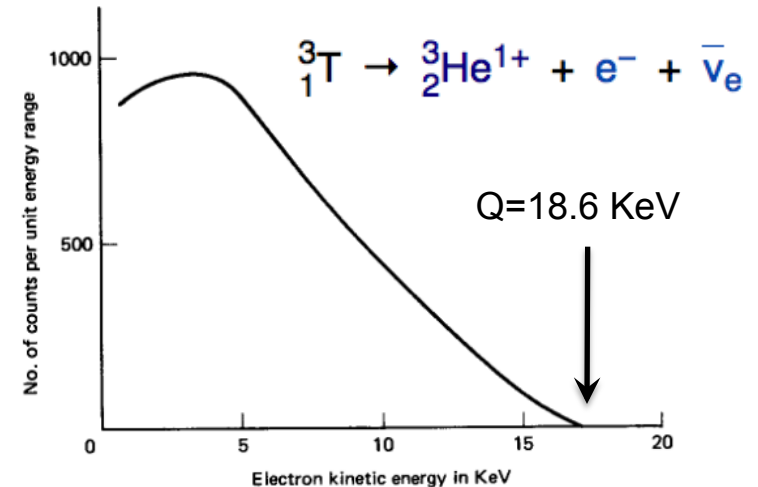
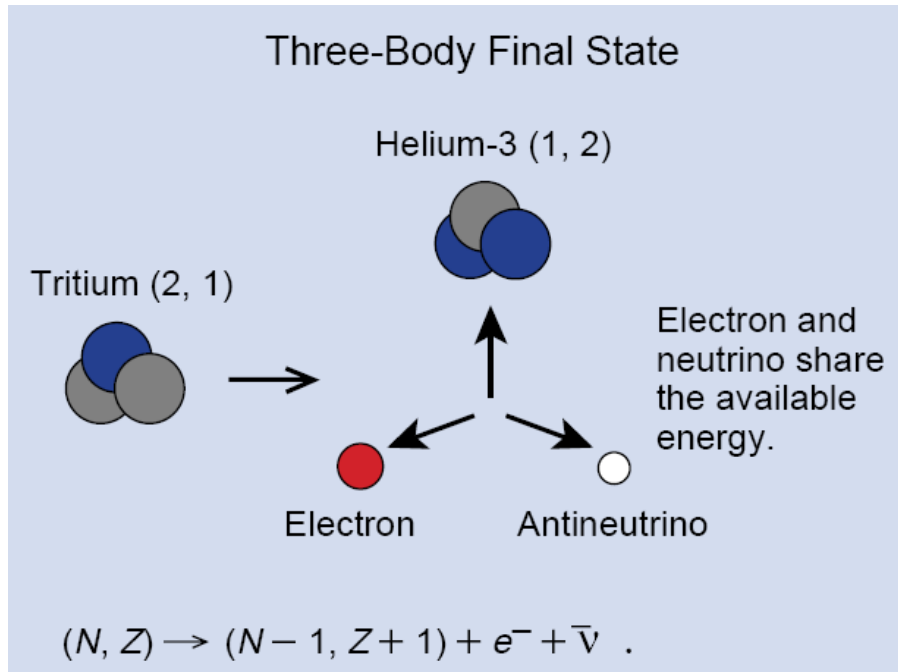


Figure 1.6 The beta decay spectrum of tritium (${}^3\text{H} \rightarrow {}^3\text{He}$). (Source: G. M. Lewis, *Neutrinos* (London: Wykeham, 1970), p. 30.)

Αν υπάρχει νετρίνο $m_e \leq E_e \leq \Delta M - m_{\nu e}$

$m_\nu \approx 0$

$\text{spin} = \hbar/2$

$q=0$

μικρή αλληλεπίδραση

➔ επιβεβαίωση ύπαρξης ν
πείραμα Reines – Cowan

ν_e (Pauli 1930)

Στην προσπάθεια να εξηγηθεί η β-διάσπαση

$$(Z,A) \rightarrow (Z+1, A) + e^- + \bar{\nu}_e$$

$$(Z',A') \rightarrow (Z'-1, A') + e^+ + \nu_e$$

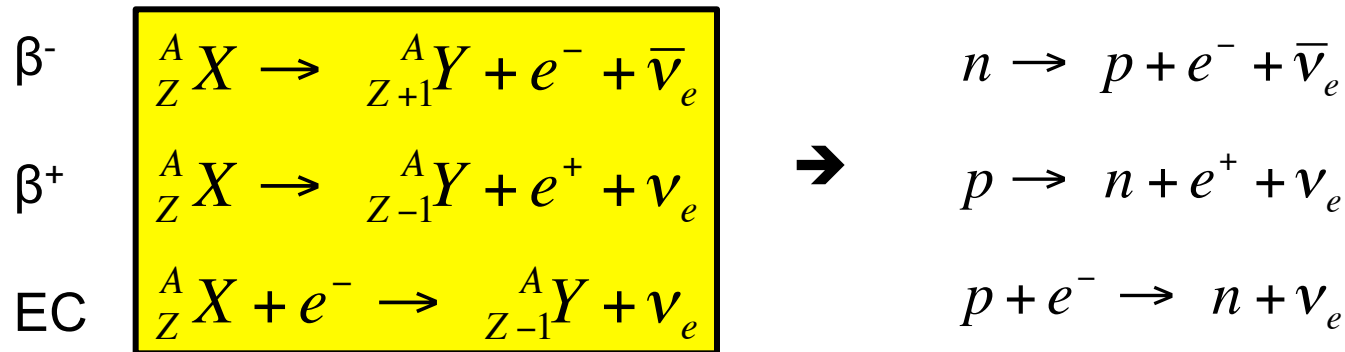
Είναι η διάσπαση δέσμιων στον πυρήνα p και n

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

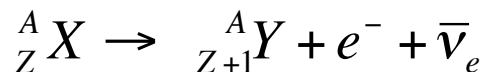
$$p \rightarrow n + e^+ + \nu_e$$

Μόνο το ελεύθερο n μπορεί να διασπαστεί $m_n > (m_p + m_e)$,
mean life $\tau = 885.7 \pm 0.8 \text{ s} \sim 15 \text{ min}$

νεutrino - αντινεutrino



Ενεργειακή συνθήκη β^-



$$M_P c^2 = T_D + M_D c^2 + T_{e^-} + m_e c^2 + T_{\bar{\nu}} + m_{\nu} c^2$$

$$\begin{aligned} T_D + T_{e^-} + T_{\bar{\nu}} &= (M_P - M_D - m_e - m_{\nu}) c^2 \\ &= \Delta M c^2 = Q, \end{aligned}$$

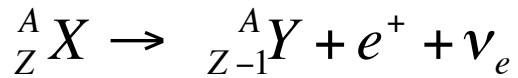
Θα πρέπει $Q > 0$

$$\begin{aligned} Q &= (M(A, Z) - M(A, Z + 1) - m_{\nu}) c^2 \\ &\approx (M(A, Z) - M(A, Z + 1)) c^2 \geq 0, \end{aligned}$$

Όπου $M(A, Z)$ οι ατομικές μάζες

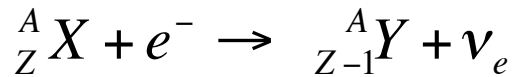
νεutrino - αντινεutrino

Ενεργειακή συνθήκη β^+



$$\begin{aligned} Q &= (M_P - M_D - m_e - m_\nu)c^2 \\ &= (M(A, Z) - M(A, Z-1) - 2m_e - m_\nu)c^2 \\ &\approx (M(A, Z) - M(A, Z-1) - 2m_e)c^2 \end{aligned}$$

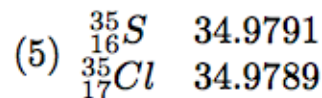
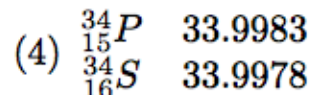
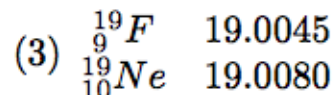
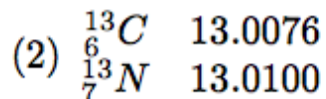
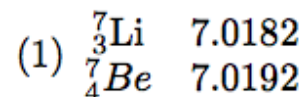
Ενεργειακή συνθήκη EC



$$\begin{aligned} Q &= (M_P + m_e - M_D - m_\nu)c^2 \\ &= (M(A, Z) - M(A, Z-1) - m_\nu)c^2 \\ &\approx (M(A, Z) - M(A, Z-1))c^2 \geq 0. \end{aligned}$$

Άσκηση

Δίνονται οι ατομικές μάζες (σε amu). Με δεδομένο ότι η μάζα του ηλεκτρονίου είναι 0.00055 amu, δείξτε ποιο νουκλίδιο σε κάθε ζεύγος είναι ασταθές, με ποιό τρόπο διασπάται και η ενέργεια που ελευθερώνεται στη διάσπαση.



- Το βαρύτερο νουκλίδιο διασπάται, άρα είναι το ποιο ασταθές.
- Όλες οι περιπτώσεις έχουν $\Delta A = 0$ (δεν δίνουν α -διάσπαση) και $\Delta Z \neq 0$ (δεν δίνουν γ -διάσπαση)

1. $\Delta M = 0.001 \text{ amu} < 0.0011 \text{ amu}$, Be είναι ραδιενεργό σύλληψης ηλεκτρονίου

2. $\Delta M = 0.0024 > 0.0011$ το N είναι β^+ και σύλληψης ηλεκτρονίου

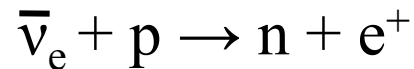
3. $\Delta M = 0.0035 > 0.0011$ το Ne είναι β^+ και σύλληψης ηλεκτρονίου

4. $\Delta M = 0.0005$ ο P είναι β^-

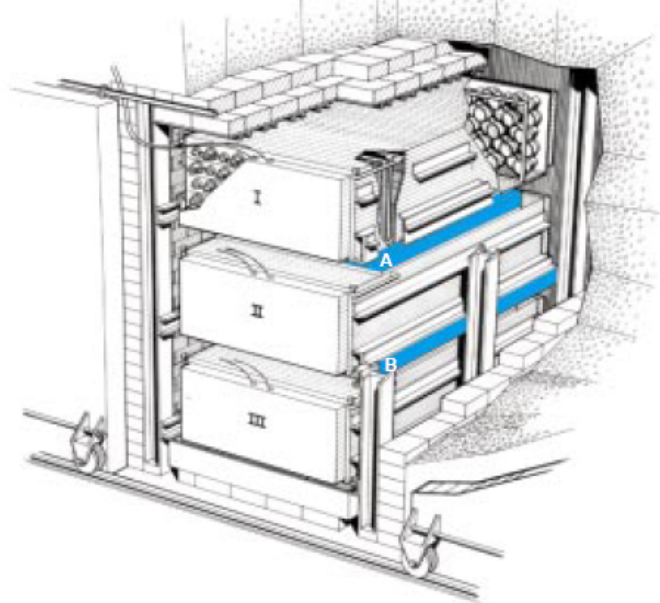
5. $\Delta M = 0.0002$ το S είναι β^-

Πείραμα Reines – Cowan

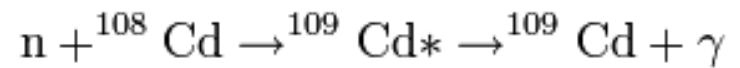
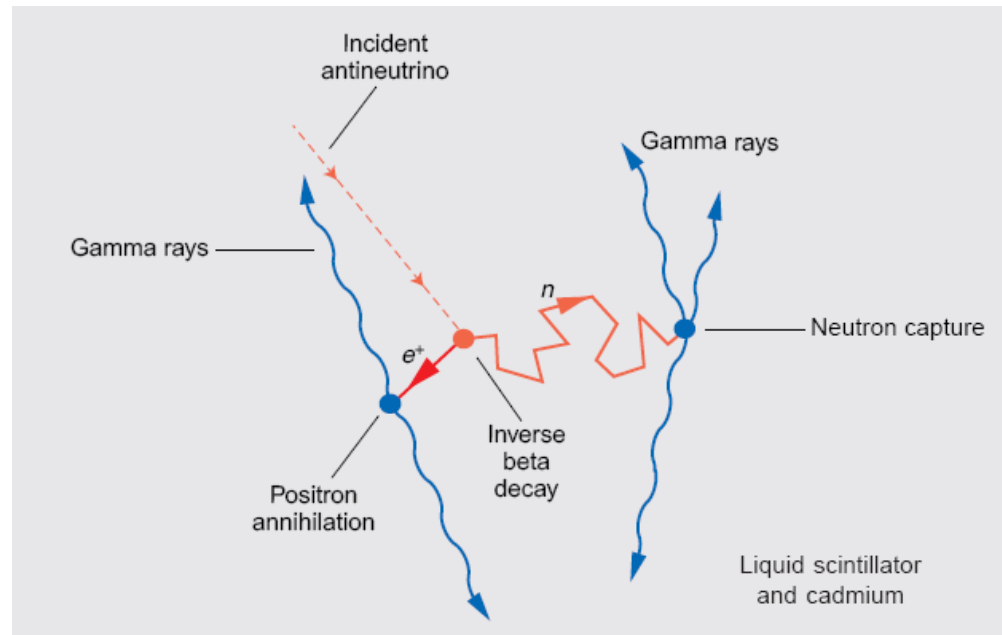
νετρίνα και αντινετρίνα μπορούν να ανιχνευτούν μέσω των αντίστροφων β-διασπάσεων



Διάταξη Reines – Cowan

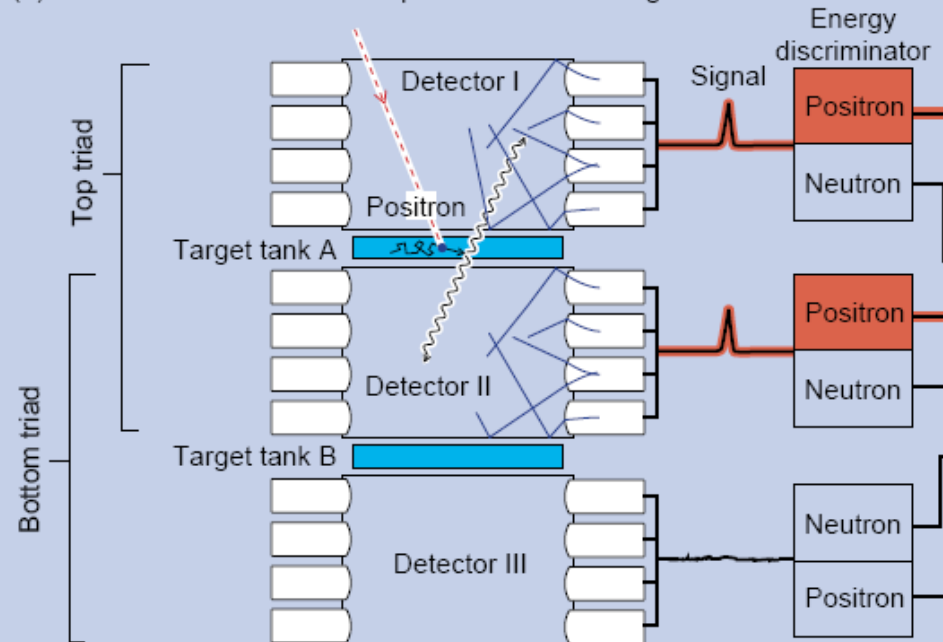


Εξαύλωση ποζιτρονίου $\rightarrow 2\gamma$, 511KeV, 180°
Σύλληψη θερμικού $n \rightarrow$ μετα από 3-5 μ s
 γ ($\Sigma E=9.1$ MeV)

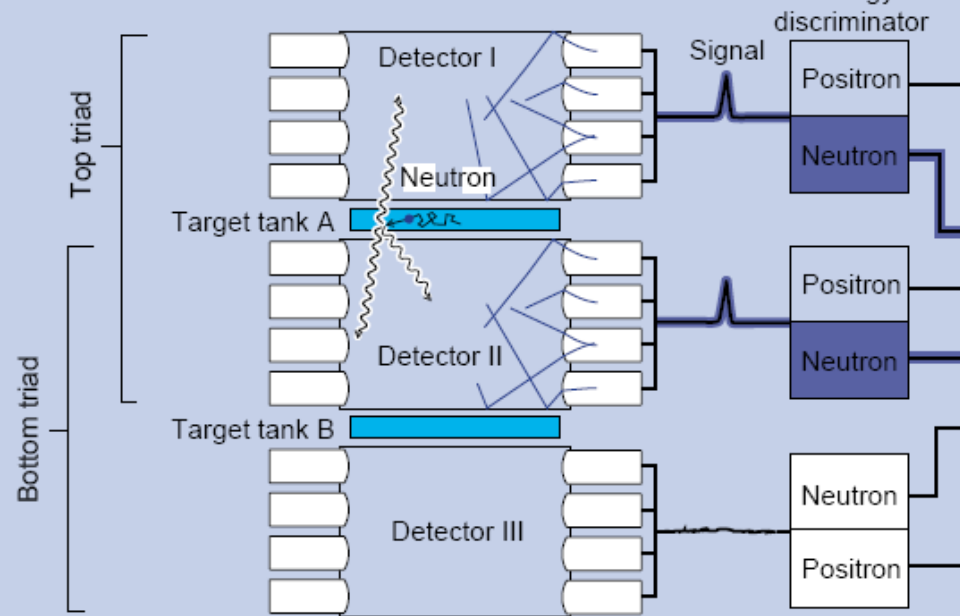


Πείραμα Reines – Cowan

(a) $T = 0$ Positron annihilation produces electron signal.



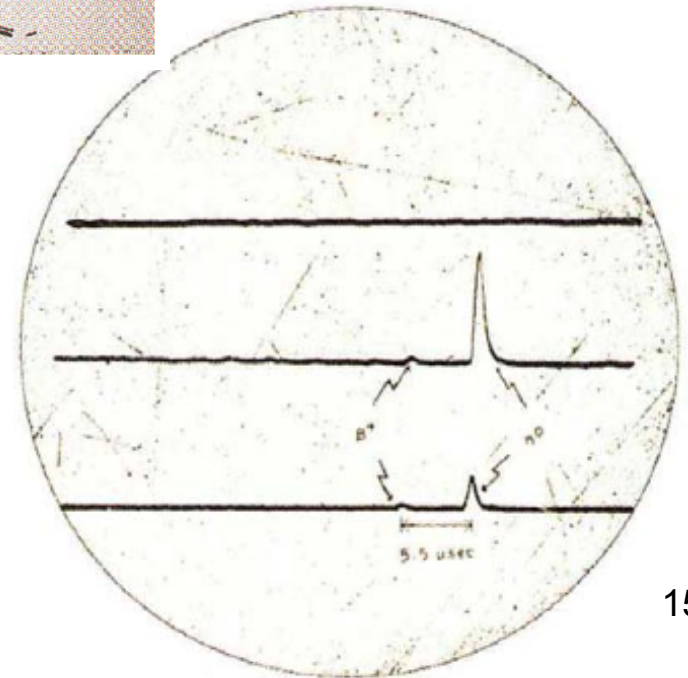
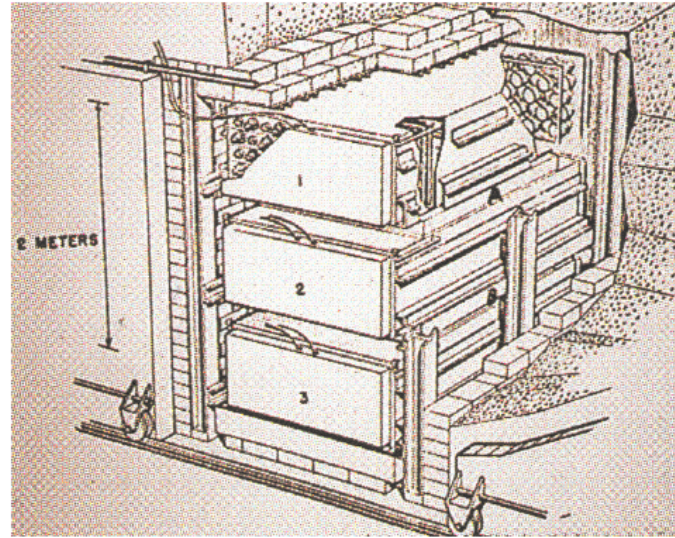
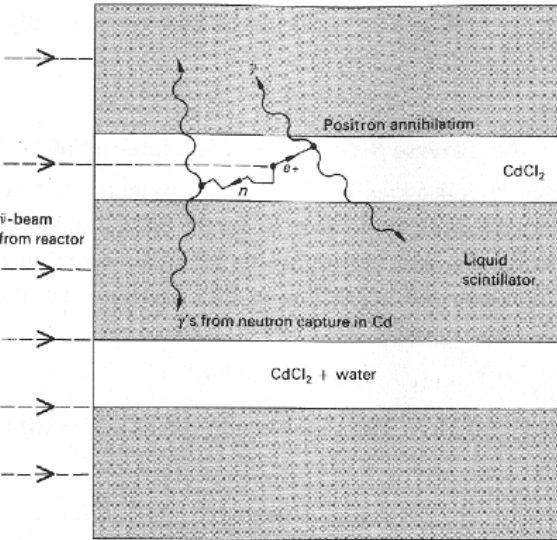
(b) $T = 3 \mu\text{s}$ Neutron capture produces neutron signal.



Αρχικά στο Hanford Site, αλλά μετά μεταφέρθηκε στο Savannah River Plant στη South Carolina όπου είχε καλύτερη θωράκιση για τις κοσμικές ακτίνες. Τοποθετήθηκε 11 m από τον αντιδραστήρα και 12 m κάτω από τη γή.

Δύο δοχεία με περίπου 200 lit νερό με περίπου 40 kg CdCl_2 . Τα δοχεία νερού ήταν ανάμεσα σε τρεις σπινθηριστές οι οποίοι περιείχαν 110 (127 mm) φωτοπολλαπλασιαστές.

Πείραμα Reines – Cowan



Reines – Cowan

•Αποτελέσματα

- Μετά από συλλογή δεδομένων μηνών, συγκέντρωσαν δεδομένα από περίπου 3 νετρίνα/ώρα στον ανιχνευτή.
- Για να είναι βέβαιοι ότι έβλεπαν γεγονότα νετρίνων σύμφωνα με το σχεδιασμό του πειράματος έκλειναν τον αντιδραστήρα για να δείξουν ότι υπήρχε διαφορά στον αριθμό των μετρούμενων γεγονότων.
- Προέβλεψαν ενεργό διατομή για την αντίδραση $6 \times 10^{-44} \text{ cm}^2$ και την μέτρησαν $6.3 \times 10^{-44} \text{ cm}^2$.
- Ο Reines πήρε το Nobel Prize το 1995.

Πείραμα Davis

Διαφοροποίηση μεταξύ $\nu \neq \bar{\nu}$



1000 γαλόνια Cl_4C κοντά (μέσα) σε αντιδραστήρα, όπου παράγονται αντνετρίνα όχι όμως νετρίνα.

Αν παράγεται Ar, μπορεί να μετρηθεί.

Μετρήσεις με τον αντιδραστήρα σε λειτουργία και χωρίς.

Αποτέλεσμα ΑΡΝΗΤΙΚΟ .

Αρα

$$\nu \neq \bar{\nu}$$

Και σε τί διαφέρουν?



Τα ουδέτερα λεπτόνια - νετρίνα

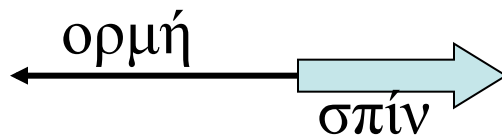
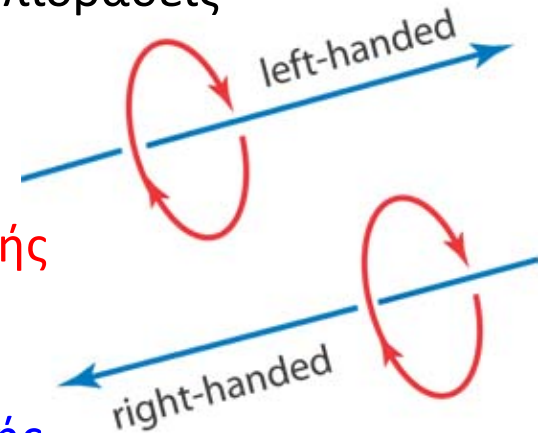
Δεν έχουν φορτίο => Δεν έχουν ηλεκτρομαγνητικές αλληλεπιδράσεις

Τα νετρίνα είναι 'αριστερόστροφα' =>

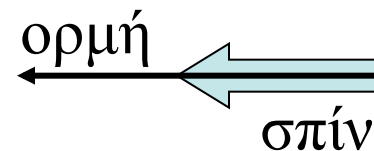
Το **σπίν** έχει διεύθυνση **αντίθετη** από το διάνυσμα της **ορμής**

Τα **αντι**-νετρίνα είναι 'δεξιόστροφα' =>

το **σπιν** έχει διεύθυνση **ομόρροπη** με το διάνυσμα της **ορμής**



νετρίνο

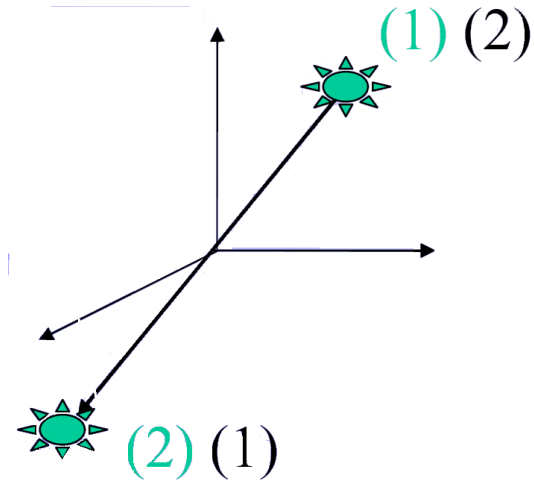


αντι-νετρίνο

Ομοτιμία (parity)

Μετασχηματισμός Parity

$$P : \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \mapsto \begin{pmatrix} -x \\ -y \\ -z \end{pmatrix}$$



Η β-διάσπαση, έχοντας είτε νετρίνα, είτε αντινετρίνα, παραβιάζει τη συμμετρία της Parity, (διαφορετική συμπεριφορά του νετρίνου και αντινετρίνου)

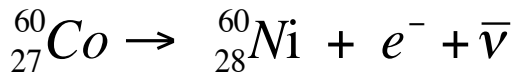
Σε αντιστροφή του χώρου, το νετρίνο γίνεται αντινετρίνο, αλλά το σπίν δεν αλλάζει φορά. Έτσι, η αντιστροφή του χώρου δημιουργεί δεξιόστροφα νετρίνα και αριστερόστροφα αντινετρίνα. Δεν παρατηρείται, οπότε όσον αφορά τις β-διασπάσεις η Parity “παραβιάζεται”



πείραμα Wu (1957)

Παραβίαση της κατοπτρικής συμμετρίας (ομοτιμίας)

Μέτρηση της γωνιακής κατανομής των ηλεκτρονίων της β^- του ^{60}Co .



Spin του ^{60}Co $5\hbar$, πόλωση σε μαγνητικό πεδίο
Τα e έχουν προτιμητέα φορά διάσπασης, αντίθετη του spin του ^{60}Co .

Στην κατοπτρική εικόνα τα e εκπέμπονται παράλληλα με το spin του ^{60}Co , κάτι που **ΔΕΝ** παρατηρείται στο πείραμα.

