Ομοτιμία – Parity

- Ο μετασχηματισμός της Parity, αντιστρέφει κάθε χωρική συντεταγμένη.

$$P(t,x) \rightarrow (t,-x), \text{ ή } P\psi(\mathbf{r}) \rightarrow \psi(-\mathbf{r})$$

που αντιστοιχεί σε ανάκλαση και μετά στροφή 180^o.

- αν επαναλάβουμε την διαδικασία προφανώς επιστρέφουμε στην αρχική κατάσταση, άρα:

$$P^2=I$$

και οι ιδιοτιμές του τελεστή P είναι ± 1.

- Μια κυματοσυνάρτηση μπορεί να έχει (να μην έχει) καθορισμένη parity. πχ

$$\psi = \cos x \text{ , } P\psi \rightarrow \cos(-x) = \cos x = \psi : \text{αρτια } (P=+1)$$

$$\psi = \sin x \text{ , } P\psi \rightarrow \sin(-x) = -\sin x = -\psi : \text{περιττή } (P=-1)$$

$$\psi = \cos x + \sin x \text{ , } P\psi \rightarrow \cos x - \sin x \neq \pm\psi$$

Η Parity ενός συστήματος διατηρείται:

$$[H,P]=0$$

Η parity είναι πολλαπλασιαστικός κβαντικός αριθμός

$$\psi=\varphi_a\varphi_b\varphi_c\ldots$$

Ομοτιμία – Parity

- Ας θεωρήσουμε ένα διάνυσμα **v**. Από τον ορισμό της parity έχουμε

$$P(\mathbf{v}) = -\mathbf{v}$$

- Ας δημιουργήσουμε ένα βαθμωτό μέγεθος από το **v**: $s = \mathbf{v}\cdot\mathbf{v}$

$$P(s) = P(\mathbf{v}\cdot\mathbf{v}) = (-\mathbf{v})\cdot(-\mathbf{v}) = \mathbf{v}\cdot\mathbf{v} = +s$$

- Ας πάρουμε τώρα το εξωτερικό γινόμενο δύο διανυσμάτων: $\mathbf{a} = \mathbf{v} \times \mathbf{w}$

$$P(\mathbf{a}) = P(\mathbf{v} \times \mathbf{w}) = (-\mathbf{v}) \times (-\mathbf{w}) = \mathbf{v} \times \mathbf{w} = +\mathbf{a}$$

- Μπορούμε να πάρουμε ένα βαθμωτό μέγεθος από τα **a** και **v**: $p = \mathbf{a}\cdot\mathbf{w}$

$$P(p) = P(\mathbf{a}\cdot\mathbf{v}) = (+\mathbf{a})\cdot(-\mathbf{v}) = -\mathbf{a}\cdot\mathbf{v} = -p$$

βαθμωτό (scalar)	$P(s) = +s$
ψευδοβαθμωτό (pseudoscalar)	$P(p) = -p$
διανυσματικό (vector)	$P(\mathbf{v}) = -\mathbf{v}$
ψευδοδιανυσματικό (pseudovector, axial vector)	$P(\mathbf{a}) = +\mathbf{a}$

Ομοτιμία – Parity

- Για σύνθετα συστήματα η parity είναι $(-1)^{\ell}$
- Τα σωματίδια και τα αντισωματίδια έχουν αντίθετες parity

$\Rightarrow$ για δέσμιες καταστάσεις όπως το positronium (e^+e^-) ή τα μεσόνια ($q\bar{q}$) η συνολική parity είναι $(-1)^{\ell+1}$

- Τα φωτόνια έχουν parity (-1) → κανόνας επιλογής $\Delta\ell = \pm 1$ στις ατομικές μεταπτώσεις
- Parity πολλαπλασιαστικός κβαντικός αριθμός → διακριτή συμμετρία

αντίστοιχα συνεχείς συμμετρίες έχουν προσθετικούς κβαντικούς αριθμούς

- Η Parity διατηρείται στις ισχυρές και ηλεκτρομαγνητικές αλληλεπιδρά-σεις.
- 1956 Yang & Lee συνειδητοποίησαν ότι δεν έχουν γίνει πειραματικά τεστ για τις ασθενείς αλληλεπιδράσεις

Ομοτιμία – Parity

- βασικό κίνητρο : Tau – Theta puzzle !
- τα τ^+ και θ^+ ήταν μεσόνια που φαινόταν ταυτόσημα από κάθε άποψη (ίδια μάζα, φορτίο, μηχανισμό παραγωγής). Η μόνη διαφορά τους είναι οι οι ασθενείς διασπάσεις τους

$$\theta^+ \to \pi^+ + \pi^0 \qquad (P = +1)$$

$$\tau^+ \to \begin{Bmatrix} \pi^+ + \pi^0 + \pi^0 \\ \pi^+ + \pi^+ + \pi^- \end{Bmatrix} \qquad (P = -1)$$

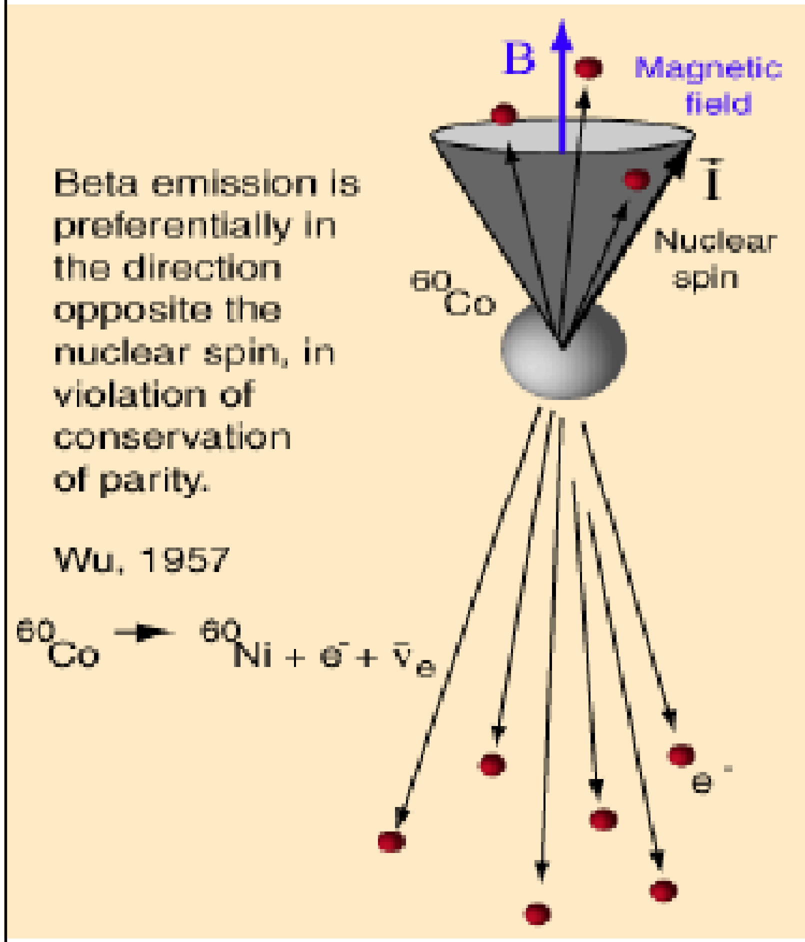
- Για το π έχουμε $J^P=0^-$. Άρα για τα τ^+ και θ^+ έχουμε αντίθετες ιδιοτιμές για την parity.
- Θεωρώντας ότι η parity είναι τέλεια συμμετρία τότε τα τ^+ και θ^+ ήταν διαφορετικά σωματίδια.

Ομοτιμία – Parity

- Οι Yang & Lee προσπάθησαν να εισαγάγουν κάποιο νέο μηχανισμό στον οποίο σωματίδια θα μπορούσαν να παράγονται σε ζεύγη αλλά θα είχαν διαφορετικές parity.
- Οι Block & Wigner τυχαία προτείνουν ότι ίσως η parity δεν διατηρείται στις ασθενείς αλληλεπιδράσεις.
- Ο Feynman στοιχημάτισε με κάποιο φίλο του $50 ότι η parity δεν παραβιάζεται

- Οι Yang & Lee προτείνουν πειραματικό τεστ.

Ομοτιμία – Parity



Το Co τοποθετήθηκε σε ένα ισχυρό μαγνητικό πεδίο και σε θερμοκρασία 0.01K, έτσι ώστε ο πυρήνας του Co (J=5) είχε ευθυγραμμισθεί με το πεδίο. Η διάσπαση είναι:

$$^{60}Co \rightarrow {}^{60}Ni + e^- + \bar{\nu}_e$$

$$J = \quad 5 \qquad 4 \quad \tfrac{1}{2} \quad \tfrac{1}{2}$$

Τα ηλεκτρόνια θα έπρεπε να εκπέμπονται κατά προτίμηση κατά μήκος του άξονα του πυρήνα είτε προς τα πάνω είτε προς τα κάτω χωρίς κάποια προτίμηση. Μετρήθηκε ότι τα ηλεκτρόνια εκπέμπονται κατά προτίμηση σε αντίθετη κατεύθυνση από αυτή του spin του Co.

Παραβίαση της parity.

Ομοτιμία – Parity - Αντιδράσεις

- *"Now after the first shock is over, I begin to collect myself. Yes, it was very dramatic."* – Pauli
- *"A rather complete theoretical structure has been shattered at the base and we are not sure how the pieces will be put together."* - Rabi
- Ο Feynman χάνει το στοίχημα των $50.

- Οι Yang & Lee κέρδισαν το εισιτήριο για τη Στοκχόλμη

Ομοτιμία – Parity στη διάσπαση του π

- Έστω ότι μελετάμε τη διάσπαση $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$. Εφόσον το π έχει spin=0 και στο CMS τα μ και ν παράγονται σε 180° τα spin τους πρέπει να αλληλοανερούνται.

- Πειράματα δείχνουν ότι κάθε μ^+ είναι αριστερόστροφο άρα και κάθε ν_μ είναι επίσης αριστερόστροφο. Με τον ίδιο τρόπο στην διάσπαση του π^- τα μ^- και $\overline{\nu}_\mu$ που παράγονται είναι πάντα δεξιόστροφα.

- Αν η parity διατηρούταν στις ασθενείς αλληλεπιδράσεις θα περιμέναμε δεξιόστροφα και αριστερόστροφα προϊόντα να παράγονταν σε ίδιες ποσότητες.

Ελικότητα - Helicity

- Όπως είδαμε μόνο η z-συντεταγμένη της στροφορμής μπορεί να καθορισθεί. Είναι καλή ιδέα να ορίσουμε σαν άξονα z την κατεύθυνση κίνησης του σωματιδίου.
- Ορίζουμε σαν ελικότητα (helicity) ενός σωματιδίου

$$h = m_s / s \qquad \text{επίσης} \qquad h = \mathbf{s} \cdot \mathbf{p} / |\mathbf{p}|$$

- Για ένα σωματίδιο που έχει spin $\frac{1}{2}$ η ελικότητα μπορεί να πάρει τιμές +1 και -1.
- Με τον ίδιο τρόπο το φωτόνιο που έχει spin 1 μπορεί να έχει $h=\pm 1$ μιας και $m=0$ υπάρχει (κατά μήκος πόλωση του φωτονίου)
- Η ελικότητα δεν είναι αμετάβλητη στους μετασχηματισμούς Lorentz εκτός αν το σωματίδιο έχει μηδενική μάζα ηρεμίας ($v=c$).
- σημαντικό για τα νετρίνα:

νετρίνο → πάντα αριστερόστροφο

αντινετρίνο → πάντα δεξιόστροφο

Συζυγία φορτίου – Charge Conjugation

- Ο τελεστής C της συζυγίας φορτίου μετατρέπει το σωματίδιο στο οποίο επιδρά στο αντισωματίδιό του αφήνοντας τη θέση και την ορμή του αμετάβλητες..
- Ο C αντιστρέφει κάθε εσωτερικό κβαντικό αριθμό (φορτίο, βαρυονικό αριθμό, λεπτονικό αριθμό, παραδοξότητα, κλπ)
- πχ

πρωτόνιο	$\Leftrightarrow$	αντιπρωτόνιο
$Q=+e$	C	$Q=-e$
$B=+1$		$B=-1$
μ		$-\mu$

- $C^2=I$ που σημαίνει ότι οι επιτρεπτές ιδιοτιμές του C είναι ±1. Άρα ο C έχει ιδιοτιμές μόνο για σωματίδια που είναι αντισωματίδια του εαυτού τους. (π^0, η, γ…)
- $C|\pi^-\rangle \rightarrow |\pi^+\rangle$
- Ενώ $C|\pi^0\rangle \rightarrow \lambda|\pi^0\rangle$, $C^2|\pi^0\rangle \rightarrow \lambda^2|\pi^0\rangle \rightarrow |\pi^0\rangle$ άρα $\lambda = \pm 1$
- Διαφορετικά μπορούμε να έχουμε ιδιοτιμές του C μόνο από ζεύγη σωματιδίων – αντισωματιδίων.

πχ. $C|\pi^-\pi^+;\ell\rangle = (-1)^{\ell}|\pi^+\pi^-;\ell\rangle$ όπου ℓ η στροφορμή του συστήματος

Συζυγία φορτίου – Charge Conjugation

- Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία προέρχονται από κινούμενα φορτία τα οποία υπό την επήρεια του C αλλάζουν πρόσημο. Άρα το φωτόνιο έχει $C_\gamma = -1$

(Θυμηθείτε η parity του φωτονίου είναι επίσης -1 μιας και υπο την επίδραση της parity E(x) = -E(-x).) Επειδή η συμμετρία είναι διακριτή για n φωτόνια θα έχουμε $C = (-1)^n$.

- Το π^0 διασπάται σε 2 γ. Άρα $C_{\pi^0} = (-1)^2 = +1$. Αυτό έχει και σαν αποτέλεσμα ότι το π^0 δεν μπορεί να διασπασθεί σε 3 γ
- για καταστάσεις $f\bar{f}$ έχουμε $C=(-1)^{\ell+s}$
- Σαν αποτέλεσμα αυτού επειδή το π^0 είναι συνδυασμός $u\bar{u}$ και $d\bar{d}$ με $\ell=0$ περιμένουμε να έχουμε $C = +1$.
- Άλλο παράδειγμα της C είναι το positronium το οποίο υπάρχει σε δύο καταστάσεις. Το *para*-positronium $\ell=s=0$ → διασπάται σε άρτιο αριθμό φωτονίων (συνήθως 2) και το *ortho*-positronium $\ell=0$ και s=1 που διασπάται σε περιττό αριθμό φωτονίων (συνήθως 3).
- Η C διατηρείται από τις ισχυρές και τις ηλεκτρομαγνητικές αλληλεπιδράσεις αλλά ΔΕΝ διατηρείται από τις ασθενείς.

Γ. Τσιπολίτης

G-parity

- Τα περισσότερα σωματίδια δεν είναι ιδιοκαταστάσεις της συζυγίας φορτίου άρα η συμμετρία C έχει πολύ περιορισμένη χρήση.
- Ο τελεστής C μετατρέπει το π^+ σε π^-. Αυτά τα δύο σωματίδια έχουν isospin $|1\ 1\rangle$ και $|1\ -1\rangle$ αντίστοιχα. Τα φορτισμένα πιόνια είναι ιδιοκαταστάσεις του τελεστή G-parity ο οποίος συνδυάζει την C και μια στροφή 180° στον χώρο του isospin:

$$G = C\, e^{i\pi I_2}$$

- Η G-parity χρησιμοποιείται κυρίως σε διασπάσεις που στην τελική κατάσταση έχουμε πιόνια. Το πιόνιο έχει

G-parity = -1. Για παράδειγμα το ρ έχει $G=+1$ άρα διασπάται σε $\rho \rightarrow 2\pi$. Το ω έχει $G=-1$ άρα διασπάται σε $\omega \rightarrow 3\pi$.

Συμμετρία CP

- *Ας ξαναδούμε την διάσπαση του πιονίου* $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$ (*το* ν_μ *πάντα αριστερόστροφο*)

- Υπό την επίδραση του *C* η αντίδραση γίνεται $\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$ αλλά το $\bar{\nu}_\mu$ παραμένει αριστερόστροφο – χειραλικότητα που δεν υπάρχει στη φύση

- *Αν* συνδυάσουμε τις συμμετρίες *C* και P θα πάρουμε δεξιόστροφο αντινετρίνο. Ίσως η *C*P να είναι η απόλυτη συμμετρία στη φύση !

- Ίσως σε κάποιο άλλο συμπαν !!!!

Το σύστημα $K^0 - \bar{K}^0$.

- Το K^0 είναι μια κατάσταση $d\bar{s}$ (S=1)
- Το $\bar{K}^0$ είναι μια κατάσταση $\bar{d}s$ (S=-1)
- Λόγω της διαφορετικής παραδοξότητάς τους οι ισχυρές αλληλεπιδράσεις τα βλέπουν σα διαφορετικά σωματίδια και έχουν διαφορετικές αντιδράσεις.

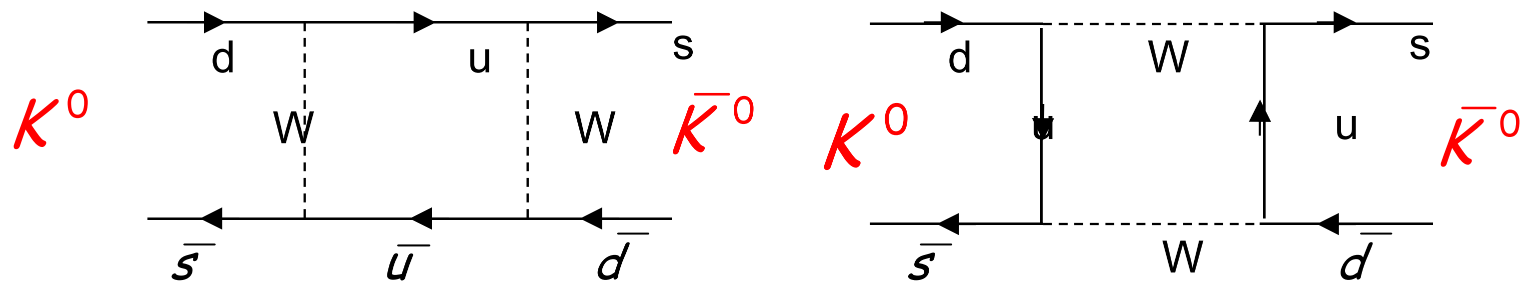
$$\pi^- + p \rightarrow K^0 + \Lambda$$

παράγεται $s\bar{s}$ το $\bar{s}$ μας δίνει K^0 και το s το Λ

$$\pi^+ + p \rightarrow K^+ + \bar{K}^0 + p$$

το s δημιουργεί το $\bar{K}^0$ και το $\bar{s}$ δεν μπορεί να κάνει βαρυόνιο

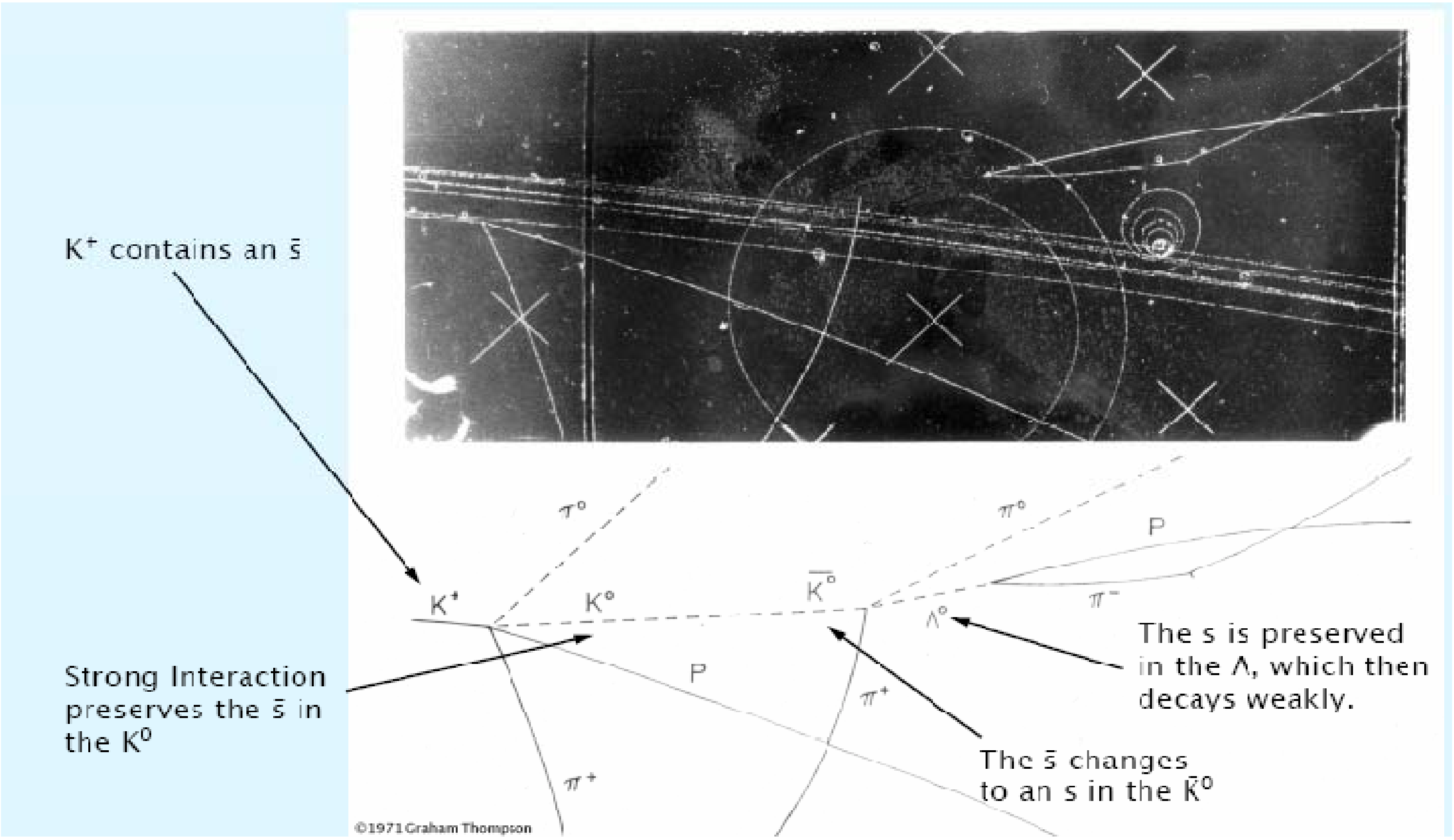
- Η παραδοξότητα όμως δεν διατηρείται στις ασθενείς αλληλεπιδράσεις. Άρα οι ασθενείς αλληλεπιδράσεις μπορούν να μετατρέψουν το K^0 στο αντισωματίδιο του $\bar{K}^0$



K^0 mixing

- Η κατάσταση K^0 με το πέρασμα του χρόνου μετατρέπεται σε μείγμα

$$|K^0\rangle \rightarrow a(t)|K^0\rangle + b(t)|\bar{K}^0\rangle$$



Ιδιοκαταστάσεις της CP

- Τα K^0 και $\bar{K}^0$ έχουν $P = -1$
- για τη C έχουμε $C\left|K^0\right\rangle = \left|\bar{K}^0\right\rangle$ και $C\left|\bar{K}^0\right\rangle = \left|K^0\right\rangle$
- για τη CP $CP\left|K^0\right\rangle = -\left|\bar{K}^0\right\rangle$ και $CP\left|\bar{K}^0\right\rangle = -\left|K^0\right\rangle$

άρα κανένα από τα K^0 ή $\bar{K}^0$ δεν είναι ιδιοκαταστάσεις της CP

- Μπορούμε να δημιουργήσουμε ιδιοκαταστάσεις της CP σαν γραμμικό συνδυασμό των K^0 και $\bar{K}^0$

$$\left|K_S^0\right\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(\left|K^0\right\rangle + \left|\bar{K}^0\right\rangle\right)$$

$$\left|K_L^0\right\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(\left|K^0\right\rangle - \left|\bar{K}^0\right\rangle\right)$$

- και από κατασκευής έχουμε

$$CP\left|K_S^0\right\rangle = +\left|K_S^0\right\rangle$$

$$CP\left|K_L^0\right\rangle = -\left|K_L^0\right\rangle$$

Διασπάσεις του K^0 και CP

- Το K^0 μπορεί να διασπασθεί είτε σε 2π είτε σε 3π
- Για τη διάσπαση σε 2π έχουμε:

έστω ότι διασπάται σε $\pi^0\pi^0$ έχουμε parity $(P_\pi)^2(-1)^\ell$. Αλλά και το π και το K έχουν spin=0 άρα ℓ=0 άρα η parity=+1. Για τη C έχουμε $(C_\pi)^2$ =+1, άρα CP=+1. Για την διάσπαση σε $\pi^+\pi^-$ συνεχίζουμε να έχουμε parity=+1 και $C|\pi^+\pi^-\rangle = (-1)^\ell = +1$. Άρα οι διασπάσεις του K^0 σε 2π έχουν CP=+1

- Για τη διάσπαση σε 3π έχουμε:

έστω ότι διασπάται σε $3\pi^0$ έχουμε ένα ζεύγος π^0 και προσθέτουμε ένα τρίτο και για την parity έχουμε

$$(P_\pi)^3(-1)^{\ell_{12}}(-1)^{\ell_3}$$

όπου ℓ_{12} η σχετική στροφορμή του συστήματος των π^0 του ζεύγους και ℓ_3 η σχετική στροφορμή του τρίτου ως προς το ζεύγος. Η συνολική στροφορμή πρέπει να αραμένει 0 άρα $\ell_{12} = \ell_3$ και για την parity έχουμε $P = (P_\pi)^3 = -1$. Επιπλέον $(C_\pi)^3 = 1$, εφόσον όπως έχουμε δει η C_{π^0}=+1. Άρα $CP_{3\pi^0}$=-1.

- Για την τελική κατάσταση $\pi^+\pi^-\pi^0$ πειραματικά βρίσκεται CP = -1.
- Αν η CP διατηρείται τότε $K^0_S \to 2\pi$ και $K^0_L \to 3\pi$ και εξαιτίας του μεγαλύτερου χώρου φάσεων το K^0_S θα διασπάται πιο γρήγορα

$\tau(K^0_S)$=8,96 10^{-11} s και $\tau(K^0_L)$=5,18 10^{-8} s

Αναγένεση του K^0_S

- Ας ξεκινήσουμε με μία δέσμη που αποτελείται από K^0 και $\bar{K}^0$(θα μπορούσαμε να την παράγουμε χτυπώντας κάποιο στόχο με μεγάλης ενέργειας πρωτόνια. Χρησιμοποιώντας μαγνήτες μπορούμε να απομακρύνουμε όλα τα φορτισμένα σωματίδια. Τα K^0 και $\bar{K}^0$ παράγονται μέσω ισχυρών αλληλεπιδράσεων.)
- Τα K^0 και $\bar{K}^0$ παράγονται σε ίσες ποσότητες άρα θα έχουμε και ίσες ποσότητες K_S^0 και K_L^0
- Μετά από 10 μέσους χρόνους ζωής του K_S^0 , 9×10^{-10} s το ποσοστό των K_S^0 που έχουν απομείνει είναι $e^{-t/\tau_s}=e^{-10}=0{,}000045$ Αντίστοιχα για τα K_L^0 έχουμε σε σχέση με τα K_S^0 $e^{-10\tau_S/\tau_L}=e^{-10/580}=0{,}98$ άρα έχουμε κυρίως K_L^0

$$\left|K_L^0\right\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(\left|K^0\right\rangle - \left|\bar{K}^0\right\rangle\right)$$

- αν βάλουμε κάποιο απορροφητή στη δέσμη και υποθέσουμε ότι από τα K^0 περνά ένα μέρος f και από τα $\bar{K}^0$ ένα μέρος $\bar{f}$ η δέσμη μας θα αποτελείται:

$$\frac{1}{\sqrt{2}}\left(f\left|K^0\right\rangle - \bar{f}\left|\bar{K}^0\right\rangle\right) \rightarrow \frac{1}{2}\left(f+\bar{f}\right)\left|K_L^0\right\rangle + \frac{1}{2}\left(f-\bar{f}\right)\left|K_S^0\right\rangle$$

αν $f \neq \bar{f}$ εμφανίζονται K_S^0

Αναγένεση του K^0_S

είναι όμως $f \neq \bar{f}$

- Το $\bar{K}^0$ περιέχει ένα s κουαρκ ενώ το K^0 ένα $\bar{s}$

- το K^0 θα δώσει αλληλεπιδράσεις της μορφής $K^0 + p \rightarrow K^+ + n$

ενώ το $\bar{K}^0$ αντιδράσεις της μορφής $\bar{K}^0 + p \rightarrow \pi^+ + \Lambda$

ή $\bar{K}^0 + n \rightarrow K^- + p$

άρα το $\bar{K}^0$ "απορροφάται" από την ύλη πιο γρήγορα $\rightarrow$ $\bar{f} < f$

- παρουσία K^0_S που ανιχνεύονται από τη διάσπασή τους σε ππ

Ταλαντώσεις του K^0

- Έστω ότι έχουμε την αντίδραση $\pi^- + p \rightarrow K^0 + \Lambda$ ← ισχυρή αλληλεπίδραση

⇒ μόνο K^0 παράγονται και όχι $\bar{K}^0$

- το K^0 σε t=0 είναι: $|K^0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(|K_S^0\rangle + |K_L^0\rangle\right)$

$$|K^0\rangle(t) = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(a_S(t)|K_S^0\rangle + a_L(t)|K_L^0\rangle\right)$$

$$a_{S,L} = e^{-im_{S,L}t}e^{-\Gamma_{S,L}t/2}$$

εκθετική διάσπαση

στατική κατάσταση

αλλά: $$|K_S^0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(|K^0\rangle + |\bar{K}^0\rangle\right)$$

$$|K_L^0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(|K^0\rangle - |\bar{K}^0\rangle\right)$$

Ταλαντώσεις του K^0

- ... πράξεις...

$$I\left(K^0\right)=\frac{1}{2}\left(a_S(t)+a_L(t)\right)\left(a_S^*(t)+a_L^*(t)\right)$$

$$I\left(\bar{K}^0\right)=\frac{1}{2}\left(a_S(t)-a_L(t)\right)\left(a_S^*(t)-a_L^*(t)\right)$$

$$I\left(K^0\right)=\frac{1}{4}\left[e^{-\Gamma_S t}+e^{-\Gamma_L t}+2e^{-(\Gamma_S+\Gamma_L)t/2}\cos\Delta m t\right]$$

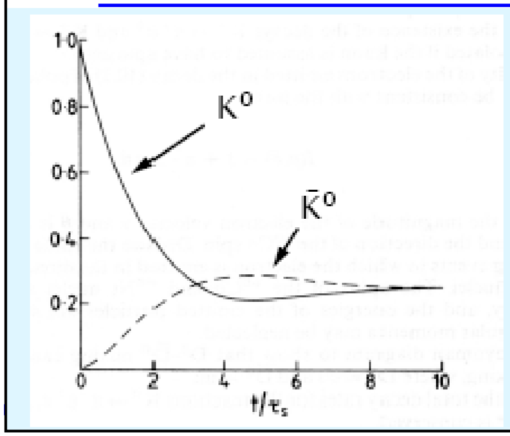
$\Delta m=|m_S-m_L|$

$$I\left(\bar{K}^0\right)=\frac{1}{4}\left[e^{-\Gamma_S t}+e^{-\Gamma_L t}+2e^{-(\Gamma_S-\Gamma_L)t/2}\cos\Delta m t\right]$$

γρήγορη διάσπαση

αργή διάσπαση

ταλάντωση λόγω συμβολής



$\Delta m=(3{,}483\pm0{,}006)\ 10^{-12}$ MeV

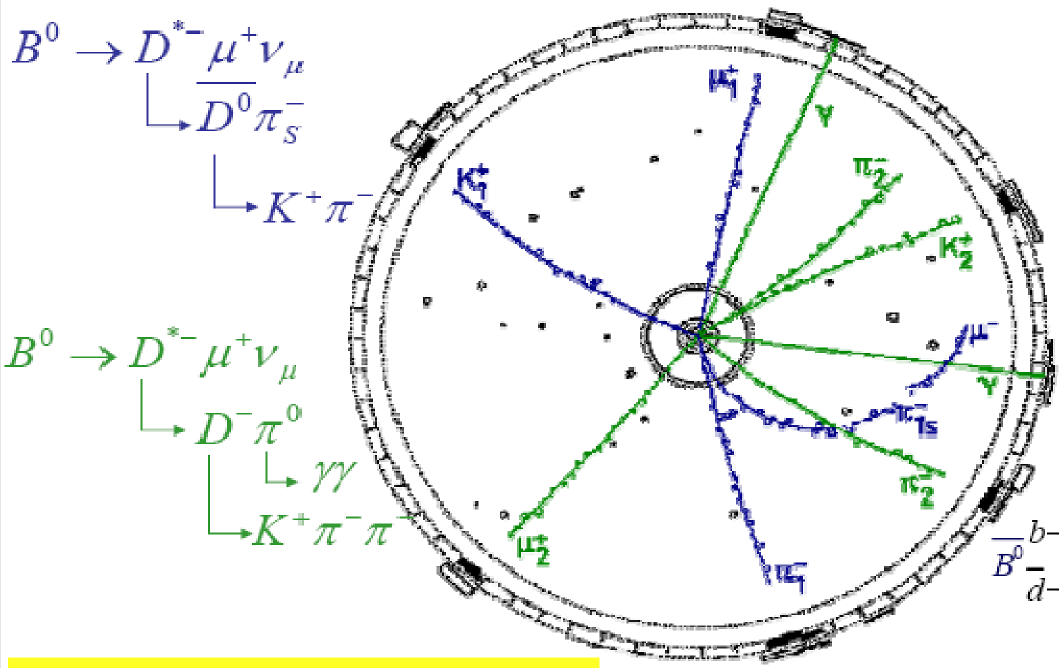
Παραβίαση της CP

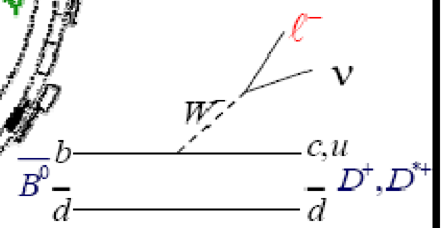
- Μέχρι τώρα υποθέσαμε ότι το K_L έχει CP=-1 άρα μπορεί να διασπασθεί σε 3 πιόνια.
- Το 1964 ο Cronin ανακάλυψαν διασπάσεις $K_L \to 2\pi \Rightarrow \cancel{CP}$
- Παραβίαση της CP έχει παρατηρηθεί και σε άλλες αντιδράσεις καονίων

πχ $K_L \to \pi^+ + e^- + \bar{\nu}_e \;\; / \;\; \to \pi^- + e^+ + \nu_e$

- Επίσης τα τελευταία χρόνια παρατηρήθηκε στο σύστημα $B^0 \leftrightarrow \bar{B}^0$

- Το να καταλάβουμε την παραβίαση της CP παρέχει πού σημαντικές πληροφορίες γιατί στο σύμπαν έχουμε περισσότερη ύλη από αντιύλη.





Discovery: ARGUS 1987