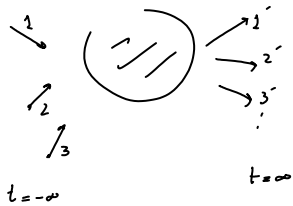


معمولی سیارک‌واره بر S-matrix



$$S = \langle 1' 2' \dots m | 1, 2, 3, \dots n \rangle = \mathbb{1} + iT$$

یکای نوبت ماتریس S

$$SS^\dagger = \mathbb{1}$$

$$\langle 1', \dots, m | iT | 1, \dots, n \rangle = (2\pi)^4 \delta^4(\sum_{i=1}^n p_i - \sum_{f=1}^m p_f) i \mathcal{M}$$

$\mathcal{M}$ دامنه

$$p_A + p_B \rightarrow p_1 + p_2$$

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{CM} = \frac{1}{2E_A 2E_B} \frac{1}{|v_A - v_B|} \frac{|p_1|}{(2\pi)^4 4E_{CM}} |\mathcal{M}_{p_A + p_B \rightarrow p_1 + p_2}|^2$$

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{CM} = \frac{|\mathcal{M}|^2}{64\pi^2 E_{CM}^2} \leftarrow \text{برای ذرات غیر نسبیه}$$

$|v_A - v_B| \rightarrow$ سرعت نسبی در دستگاه آزمایش

تعداد برگانه؟

$$\frac{dN}{d\Omega} = N_A N_B \frac{v_{rel}}{d\Omega}$$

یادآوری

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t \\ x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

$$\begin{matrix} t \rightarrow t' \\ z \rightarrow z' \end{matrix} \quad \begin{matrix} x' = x \\ y' = y \end{matrix}$$

$$\sigma_{tot} = \int \frac{d\sigma}{d\Omega} d\Omega$$

سطح مقطع برخورد کل

آیا هست ناورادی لورنتس است؟

سؤال: در ال-ایجی سطح مقطع برخورد برای سیگنال خاص

۱۴۸ است. پیش زمینه (background) ۱۵۰ است

برای کشف با ۵ دجی اعتماد چه قدر دقت می‌خواهیم

• اللمعان المتكامل (Integrated Luminosity)

$$\sigma_s = 1fb \quad \sigma_b = 1n$$

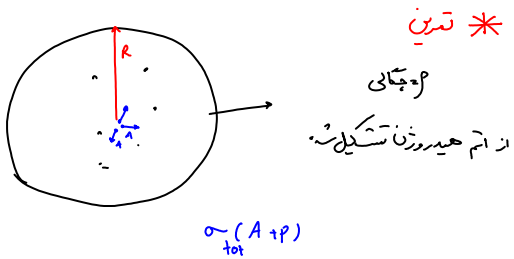
این یعنی تعداد سیگنال
از ۵ برابر افت رافضی
بیش نباشد
بیشتر باشد

$$\frac{L_{\sigma_s}}{\sqrt{L_{\sigma_m}}} \geq 5$$

انت مخیر کماری با $\sqrt{N}$ داده می شود

$$L > \frac{25 \sigma_0}{\sigma_s} = 25 \times \frac{10^{-9}}{10^{-15}} \text{ fb}^{-1} = 25 \times 10^6 \text{ fb}^{-1}$$

۱۰
۱۱
۱۲
۱۳
۱۴
۱۵
۱۶
۱۷
۱۸
۱۹
۲۰
۲۱
۲۲
۲۳
۲۴
۲۵
۲۶
۲۷
۲۸
۲۹
۳۰
۳۱
۳۲
۳۳
۳۴
۳۵
۳۶
۳۷
۳۸
۳۹
۴۰
۴۱
۴۲
۴۳
۴۴
۴۵
۴۶
۴۷
۴۸
۴۹
۵۰
۵۱
۵۲
۵۳
۵۴
۵۵
۵۶
۵۷
۵۸
۵۹
۶۰
۶۱
۶۲
۶۳
۶۴
۶۵
۶۶
۶۷
۶۸
۶۹
۷۰
۷۱
۷۲
۷۳
۷۴
۷۵
۷۶
۷۷
۷۸
۷۹
۸۰
۸۱
۸۲
۸۳
۸۴
۸۵
۸۶
۸۷
۸۸
۸۹
۹۰
۹۱
۹۲
۹۳
۹۴
۹۵
۹۶
۹۷
۹۸
۹۹
۱۰۰



$$\frac{g}{m_p} \times \sigma_{tot} \times R \gg 1$$

$$\text{مسافت برپیش‌آزاد میانگین} = \frac{1}{n\sigma}$$

$$\overline{\text{آمد بر خورد}} = v_{no}$$

$$A \rightarrow f$$

$$d\Gamma = \frac{1}{2m_A} \left(\pi \frac{d^3 p_f}{(2\pi)^3} \frac{1}{2E_f} \right) |\mathcal{M}|^2 (2\pi)^4 \delta^4(p_A \rightarrow \sum_f p_f)$$

↓
در صورتی که
سکون

چگونه دامن را حساب کنیم ؟

$$\langle \dots | S | \dots \rangle_{in} = \lim_{T \rightarrow \infty} \langle \dots | e^{-iH(2T)} | \dots \rangle_{in}$$

$$L = K - \underline{V}$$

$$\langle \dots \nu_{out} | \dots \nu_{in} \rangle$$

$$\varphi_1 \varphi_2 \dots \varphi_n$$

$$\varphi = \int \frac{d^3k}{(2\pi)^3} \frac{1}{\sqrt{2\omega_k}} (e^{ikx} a_k + e^{-ikx} a_k^\dagger)$$

$$V = \lambda \varphi_1 \varphi_2 \dots \varphi_m \varphi_{m+1} \dots \varphi_n + \text{H.c.}$$

$\downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow$
 $a_1 \quad a_2 \quad a_n \quad (a_{m+1})^\dagger \quad a_n^\dagger$

$$| \rangle_{in} = | \varphi_1(k_1) \dots \varphi_m(k_m) \rangle$$

$$| \rangle_{out} = | \bar{\varphi}_{m+1}(k_{m+1}) \dots \bar{\varphi}_n(k_n) \rangle$$

$$\mathcal{M} = \lambda$$


$$V = \lambda \underbrace{\varphi_1 \varphi_2 \varphi_3}_{V_1} + \lambda \underbrace{\varphi_4 \varphi_5 \varphi_6}_{V_2} + \text{H.c.}$$

$$\varphi_1 + \varphi_2 \rightarrow \varphi_5 + \varphi_6 \quad ?$$

$$\varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 | \varphi_1 \varphi_2 \rangle = | \bar{\varphi}_3 \rangle$$

$$\langle \varphi_5 \varphi_6 | \varphi_1^\dagger \varphi_2^\dagger \varphi_3^\dagger = \langle \bar{\varphi}_4 |$$

مرتبه بالاتر؟

$$\begin{array}{ll} \varphi_1 \rightarrow e^{i\frac{2\pi}{3}} \varphi_1 & \varphi_4 \rightarrow \varphi_4 \\ \varphi_2 \rightarrow e^{i\frac{2\pi}{3}} \varphi_2 & \varphi_5 \rightarrow \varphi_5 \\ \varphi_3 \rightarrow e^{i\frac{2\pi}{3}} \varphi_3 & \varphi_6 \rightarrow \varphi_6 \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{تبادیل} \\ V \rightarrow V \end{array}$$

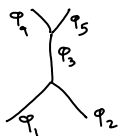
$$\varphi_1 + \varphi_2 \rightarrow \varphi_5 + \varphi_6 \quad \text{تحت این شرایط نادرست است.}$$

$$\cancel{\varphi_1 + \varphi_2 \rightarrow \varphi_5 + \varphi_6}$$

$$V = \underbrace{g_1 \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3}_{V_1} + \underbrace{g_1^* \varphi_1^\dagger \varphi_2^\dagger \varphi_3^\dagger}_{V_1^\dagger} + \underbrace{g_2 \varphi_3 \varphi_4 \varphi_5}_{V_2} + \underbrace{g_2^* \varphi_3^\dagger \varphi_4^\dagger \varphi_5^\dagger}_{V_2^\dagger}$$

$$V_2^\dagger V_1 | \varphi_1 \varphi_2 \rangle \propto | \varphi_4 \varphi_5 \rangle$$

$$\varphi_1 + \varphi_2 \rightarrow \varphi_4 \varphi_5$$



$$i\mathcal{M} = \frac{i}{q^2 - m_3^2 + i\epsilon} (ig_1)(ig_2^*)$$

$$q = p_1 + p_2$$

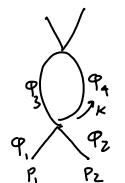
$$\text{---} \xrightarrow{p} \quad \frac{i}{p^2 - m^2}$$

$$\text{---} \xrightarrow{\text{ایستایی}} \quad 1$$

$$\text{---} \xrightarrow{\text{---}} \quad -iV$$

$$V = g_1 \phi_1 \phi_2 \phi_3 \phi_4 + g_2 \phi_3 \phi_4 \phi_5 \phi_6 + \text{H.c.}$$

حلقه



$$\mathcal{M} = \int \frac{d^4 k}{(2\pi)^4} \frac{i}{k^2 - m_\pi^2} \frac{i}{(p_1 + p_2 - k)^2 - m_\pi^2} (-ig_1^*)(-ig_2^*)$$

$$d^4 k = \Omega_{3D} k^3 dk = \underbrace{2\pi^2}_{\text{---}} k^3 dk$$

$$\text{loop - suppression} \sim \frac{g^2}{16\pi^2}$$

فانتوریکلی تعداد

$$V \sim \frac{\phi^4}{4!} \quad \phi \phi \phi \phi \quad | \phi(k_1) \phi(k_2) \phi(k_3) \phi(k_4) \rangle$$

$$= 4!$$

$$\langle \bar{\phi}(k_2) | \phi \phi \phi \phi | \phi(k_1) \rangle = 4 \times 3 \quad \text{---}$$

$$\frac{4 \times 3}{4!} = \frac{1}{2}$$

$$\phi \phi \phi \phi \quad 3 \quad \infty$$

$$\frac{3}{4!} = \frac{1}{8}$$

بمحات ۹۲ و ۹۳ بکین مراجعه کنید.
(در امتحان میانه ترم یک سوال مربوط خدام بررسیید.)

فرسبون ها

$$\text{---} \quad u$$

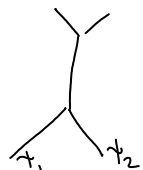
$$\text{---} \xrightarrow{\text{یاد دزد}} \quad \nu$$

$$\text{---} \xrightarrow{\text{دایلی}} \quad i \not{p} + m$$

$$\frac{1}{p^2 - m^2 + i\epsilon}$$

$$V = \lambda \bar{\psi}_2 \psi_1 \phi$$

$\psi_1(k_1) \bar{\psi}_2(k_2) \rightarrow \psi_1(k_3) \bar{\psi}_2(k_4)$



$iM = (-i\lambda)(-i\lambda^*) \frac{i}{s - m_\phi^2}$

$\bar{\psi}_2(k_2) u_1(k_1) \quad \bar{u}_1(k_3) v_2(k_4)$

$[- - -] \gamma^* \begin{bmatrix} \equiv \\ - \end{bmatrix}$

$$\sum_{s_1, s_2} |M|^2$$

$$\bar{v}_2(k_2) u_1(k_1) = v_2^\dagger \gamma^0 u_1$$

$$\bar{v}_2 u_1 (\bar{v}_2 u_1)^\dagger = \bar{v}_2 u_1 \bar{u}_1 v_2 = \text{Tr}(u_1 \bar{u}_1 v_2 \bar{v}_2)$$

$$u^s(p) = \begin{pmatrix} \sqrt{p \cdot \sigma} \xi^s \\ \sqrt{p \cdot \bar{\sigma}} \xi^s \end{pmatrix} \quad v^s = \begin{pmatrix} \sqrt{p \cdot \sigma} \xi^s \\ -\sqrt{p \cdot \bar{\sigma}} \xi^s \end{pmatrix}$$

$$\sum_s u^s \bar{u}^s = \begin{pmatrix} m & p \cdot \sigma \\ p \cdot \bar{\sigma} & m \end{pmatrix} = \gamma \cdot p + m$$

$$\sum_s v^s \bar{v}^s = \begin{pmatrix} -m & p \cdot \sigma \\ p \cdot \bar{\sigma} & -m \end{pmatrix} = \gamma \cdot p - m$$

لا لاسکری مرکز

$$s \ll m_\phi^2$$

$\psi_1 \psi_2 \rightarrow \psi_1 \psi_2$

$-\frac{i\lambda\lambda^*}{m_\phi^2} \bar{\psi}_1 \psi_2 (\bar{\psi}_1 \psi_2)^\dagger$

Polarization

ϵ^μ

μ

μ

$-i \frac{g_\mu g_\nu}{q^2 - m_V^2}$

Weak interactions

β -decay of Nuclei

از زمان پیدایش شناخته شده بود

α - decay β - decay در سال ۱۸۹۷ معرفی کرده بود.

توصیف نظری واپاشی با در سال ۱۹۳۳ توسط فیزیکدانان.
طی دو دهه ی بعد تر دینیز تر شد.

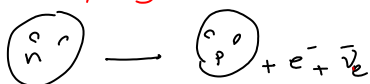
له ۱۹۵۷ ختم Wu نقض پارته
Lee Yang

فاینمن گلمان مارشاک سوارتس

V-A - structure

$$\bar{\psi} \gamma^\mu (1 - \gamma^5) \psi$$

β -decay



فاینمن $\rightarrow \pi \pi \pi$

$$M(\vec{p}_1 \cdot \vec{p}_2, \vec{p}_2 \cdot \vec{p}_3, \vec{p}_1 \cdot \vec{p}_3)$$

$$\vec{p}_1 \cdot (\vec{p}_2 \times \vec{p}_3) = 0$$

تقارن دورانی

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3 = 0$$

$$(-1)^3 = -1$$

ذره اسپین صفر $\rightarrow \pi \pi$

$$(-1)^2 = 1$$

همچون بودند

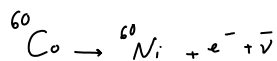
Lee Yang ۱۹۵۶ $\rightarrow$ ~~Parity~~

ذره K^+ بود.

$$Br(K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0) = 21\%$$

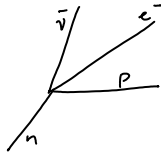
$$Br(K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^+ \pi^-) = 5.6\%$$

Wu et al.

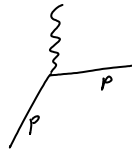


Road to Current-Current V-A

interaction



$$G_i j_\mu^{(\nu \rightarrow e)} j_\mu^{(e)}$$



$$e j_\mu^{(e)} A^\mu$$

$$j_\mu^{(e)} = \bar{u}_p \gamma_\mu u_p$$



$$H_w = \sum_i \frac{G_i}{2} [\bar{\psi}_p O_i \psi_n] [\bar{\psi}_e O_i (1 + c_i \gamma_5) \psi_\nu] + h.c.$$

1	$O_S = 1$	Scalar (S)
4	$O_V = \gamma_\mu$	Vector (V)
+ 6	$O_T = \frac{i}{2} (\gamma_\mu \gamma_\nu - \gamma_\nu \gamma_\mu)$	Tensor (T)
4	$O_A = \gamma_5 \gamma_\mu$	Axial vector (A)
1	$O_P = \gamma_5$	Pseudoscalar (P)
16		

↓
پایه‌ی کامل برای ماتریس هرسی

ماتریس کلی γ_μ $\underbrace{G_i O_i}_{\text{Complex}}$

$H_w \rightarrow$ کلی‌ترین حالت نامربط تحت لورنس

$$G_i = G_s$$

*

$$C_0 \uparrow \downarrow$$

$$C = \pm 1$$

Maximal parity violation

آیا در این طریق می توان تشخیص داد $C=1$ یا $C=-1$ ؟
موقع تحویل در هفته بعد

$$\bar{\psi}_2 O_i \psi_1$$

تحت C, P, T چگونه

برای می شود. نحوه تبدیل را بنویسید

توابع کتاب با پسین فرق دارد پس بخش ۲.۱.۲.۱ را بخوانید!

$$u = \begin{pmatrix} \sqrt{p \cdot \sigma} \xi \\ \sqrt{p \cdot \bar{\sigma}} \xi \end{pmatrix} \quad v = \begin{pmatrix} \sqrt{p \cdot \sigma} \xi \\ -\sqrt{p \cdot \bar{\sigma}} \xi \end{pmatrix}$$

$$\sigma^0 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \sigma^1 = \begin{bmatrix} 0 & \sigma^1 \\ -\sigma^1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\sigma^2 = \begin{bmatrix} 0 & \sigma^2 \\ -\sigma^2 & 0 \end{bmatrix} \quad \sigma^3 = \begin{bmatrix} 0 & \sigma^3 \\ -\sigma^3 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\sigma^1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \sigma^2 = \begin{bmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{bmatrix} \quad \sigma^3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$$\gamma^5 = i \gamma^0 \gamma^1 \gamma^2 \gamma^3 = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$P_L = \frac{1 - \gamma^5}{2} \quad P_R = \frac{1 + \gamma^5}{2}$$

Projection matrices

$$h = \frac{\vec{\sigma} \cdot \vec{p}}{2p}$$

↑
میزین هلیتی

$$P_L \psi = \psi_L \quad P_R \psi = \psi_R$$

$$(\gamma^\mu p_\mu - m) \psi = 0$$

معادله حرکت

$$m \rightarrow 0 \quad p_\mu = (p, 0, 0, p)$$

$$\gamma^\mu p_\mu = p \left(\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 & \sigma^3 \\ \sigma^3 & 0 \end{bmatrix} \right) =$$

$$P \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 \\ 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\sqrt{P \cdot \sigma} = \sqrt{P \left(\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \right)} = \sqrt{2P} \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\sqrt{P \cdot \bar{\sigma}} = \sqrt{P \left(\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \right)} = \sqrt{2P} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\psi = \frac{1}{\sqrt{2P}} \begin{pmatrix} 0 \\ \xi_2 \\ \xi_1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\xi = \begin{pmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \end{pmatrix} \quad |\xi_1|^2 + |\xi_2|^2 = 1$$

$$P \cdot \sigma \psi_L = 0$$

$$P \cdot \sigma \psi_R = 0$$

درجه آزادی $m=0$ ، ψ_L و ψ_R با معادله حرکت مربوطه می‌شوند

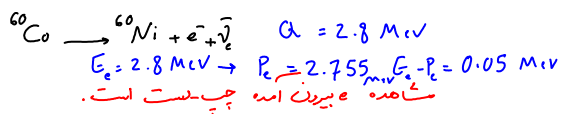
$$\psi_L = \sqrt{2P} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \psi_R = \sqrt{2P} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\hbar \frac{\vec{p} \cdot \vec{\sigma}}{2|P|} \quad \hbar \psi_L = -\frac{\psi_L}{2} \quad \hbar \psi_R = \frac{\psi_R}{2}$$

Observation of electron

helicity in the β -decay

Frauenfelder 1957



$$\psi_e \rightarrow \frac{1-\gamma_5}{2} \psi_e \quad \psi_e^+ \rightarrow \psi_e^+ \frac{1-\gamma_5}{2}$$

$$\bar{\psi}_e \gamma_5 = -\gamma_5 \bar{\psi}_e \quad \bar{\psi}_e \rightarrow \bar{\psi}_e \frac{1+\gamma_5}{2}$$

$$\bar{\psi}_e O_i (1 + \gamma_5) \psi_\nu \rightarrow \bar{\psi}_e \frac{1+\gamma_5}{2} O_i (1 + \gamma_5) \psi_\nu$$

$$= \bar{\psi}_e O_i \frac{1+\gamma_5}{2} (\gamma_5 + 1) \psi_\nu$$

$$i = V, A \rightarrow -1$$

$$i = S, T, P \rightarrow +1$$

$$= \bar{\psi}_e O_i (1 + \gamma_5) \left(\frac{1-\gamma_5}{2} \right) \psi_\nu$$

$$V, A \rightarrow C_i = -1$$

نوترینو چپ دست

$$S, T, P \rightarrow C_i = 1$$

راست دست

تعیین هلیسیتی نوترینو

1958 Goldhaber

$$^{152}\text{Eu} (J^P = 0^-) + e^- \rightarrow ^{152}\text{Sm} (1^-) + \nu \rightarrow ^{152}\text{Sm} (0^+) + \gamma + \nu$$

$$^{152}\text{Eu} (0^-) + e^- \rightarrow ^{152}\text{Sm} (0^+) + \gamma + \nu$$

$$\begin{array}{lcl} \text{(i)} & 0 & -\frac{1}{2} & 0 & -1 & \frac{1}{2} \\ \text{(ii)} & 0 & +\frac{1}{2} & 0 & 1 & -\frac{1}{2} \end{array} \left. \begin{array}{l} \text{فوتون های} \\ \text{کم هبت} \end{array} \right\} S_m$$

قطبی $\gamma = +1$ قطبش طبری چپگرد
left-circularly polarized قرب

$$A_\mu \rightarrow F_{\mu\nu} = \partial_\mu A_\nu - \partial_\nu A_\mu$$

$$F_{\mu\nu} = \begin{bmatrix} 0 & E_1 & E_2 & E_3 \\ -E_1 & 0 & \theta_3 & -\theta_2 \\ -E_2 & -\theta_3 & 0 & \theta_1 \\ -E_3 & +\theta_2 & -\theta_1 & 0 \end{bmatrix} \leftarrow \begin{array}{l} \text{ماتریس} \\ \text{چپانه} \end{array} *$$

$$\xi_\mu: (0, 0, 1, 0) \quad \vec{k} = (k, 0, 0, k)$$

$$\vec{E}(t, x) \quad \vec{B}(t, x) \quad \text{دست یارید}$$

$$V-A \text{ type; i.e. } \bar{\psi}_e \gamma^\mu (1-\gamma_5) \psi_\nu$$

$$N \rightarrow N^- e^+ \bar{\nu}$$

$$S=0 \quad e^+ \bar{\nu} \quad \text{لذری}$$

$$S=1 \quad e^+ \bar{\nu} \quad \text{لذری کاهو-تکیر}$$

$$N \text{ و } N^- \text{ درجه غیر نسبی}$$

$$O_i = S, V \quad \text{لذری}$$

$$O_i = T, A \quad \text{لذری کاهو-تکیر}$$

$$H_W = \frac{G_V}{2} [\bar{\psi}_p \gamma_\mu \psi_n] [\bar{\psi}_e \gamma^\mu (1-\gamma_5) \psi_\nu] + \frac{G_A}{2} [\bar{\psi}_p \gamma_5 \gamma_\mu \psi_n] [\bar{\psi}_e \gamma^\mu (1-\gamma_5) \psi_\nu] + H.C.$$

$$^{14}\text{O} (0^+) \rightarrow ^{14}\text{N} (0^+) + e^+ + \nu$$

$$\text{لذری} \quad \text{مقطع از } G_V \text{ کم می شود}$$

$$G_P = \frac{G_V}{\sqrt{2}} \quad G_P = 1.147 \times 10^{-5} \text{ GeV}^{-2}$$

$$n \rightarrow p + e + \bar{\nu}_e \quad \left| \frac{G_A}{G_V} \right| = 1.26$$

علاقت نسبی G_A و G_V با جابجایی و پاشی n قطبیه بدست می آید:

$$\psi_n = \begin{bmatrix} \sqrt{\sigma \cdot p} \chi_n \\ \sqrt{p \cdot \sigma} \chi_n \end{bmatrix} \approx \sqrt{m_n} \begin{bmatrix} \chi_n \\ \chi_n \end{bmatrix}$$

$$\psi_p = \begin{bmatrix} \sqrt{p \cdot \sigma} \chi_p \\ \sqrt{p \cdot \sigma} \chi_p \end{bmatrix} \approx \sqrt{m_p} \begin{bmatrix} \chi_p \\ \chi_p \end{bmatrix}$$

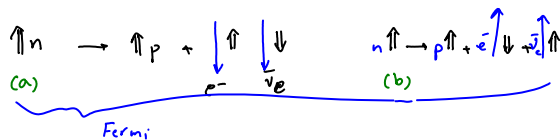
$$\bar{\psi}_p \gamma_0 \psi_n \propto \chi_p^\dagger \chi_n$$

$$\bar{\psi}_p \gamma^i \psi_n = \sqrt{m_n m_p} \bar{\chi}_p^\dagger \chi_n^\dagger \begin{bmatrix} -\sigma^i & \\ & \sigma^i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \chi_n \\ \chi_n \end{bmatrix}$$

$$= 0 + O\left(\frac{v}{c}\right)$$

$$H_W = G_V (\chi_p^\dagger \chi_n) (\psi_e^\dagger \psi_\nu) + G_A (\chi_p^\dagger \chi_n) (\psi_e^\dagger \vec{\sigma} \psi_\nu)$$

$$+ H.c. \quad \sigma_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \sigma_2 = \begin{bmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{bmatrix} \quad \sigma_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$$



$$(c) \quad n \rightarrow p + e + \bar{\nu}_e$$

Gamow-Teller

$$M^{(a)} = (G_V + G_A) F$$

$$M^{(b)} = (G_V - G_A) F$$

$$M^{(c)} = 2 G_A F$$

$$P(\bar{\nu}_e \uparrow \bar{p}_e \uparrow) = |M^{(b)}|^2 = |G_V - G_A|^2 |F|^2$$

$$P(\bar{\nu}_e \uparrow \bar{p}_e \downarrow) = |M^{(a)}|^2 + |M^{(c)}|^2 = |G_V + G_A|^2 |F|^2 + 4 |G_A|^2 |F|^2$$

$$P(\bar{\nu}_e \uparrow \bar{p}_e \uparrow) \approx P(\bar{\nu}_e \uparrow \bar{p}_e \downarrow) \quad \text{نصف به نصف}$$

$$H_W = \frac{G_F}{\sqrt{2}} [\bar{\psi}_p \gamma_\mu (1 - g_A \gamma_5) \psi_n] [\bar{\psi}_e \gamma^\mu (1 - \gamma_5) \psi_\nu] + H.c.$$

$$g_A = -\frac{G_A}{G_V} \approx 1.26$$

تجربهای ۲.۳ ، ۲.۲ ، ۲.۱ *

$$A_{\nu_l + n \rightarrow p + l^-} = -i \frac{G_F}{\sqrt{2}} V_{ud} \bar{u}_l(p_l) \gamma_j (1 - \gamma^5) u_{\nu_l}(p_{\nu_l})$$

$$\left\{ \bar{u}_p(p_p) \left[\gamma^j F_1(q^2) + \frac{i}{2m_N} \gamma^j q F_2(q^2) - \gamma^j \gamma^5 G_A(q^2) - \frac{q^j \gamma^5 G_P(q^2)}{m_N} \right] u_n(p_n) \right\}$$

$$q = p_p - p_l = p_p - p_n \quad q^2 = -q^2$$

$$G_A(q^2) = \frac{g_A}{(1 + \frac{q^2}{m_\pi^2})^2} \quad m_\pi = 136 \pm 0.021 \text{ GeV} \rightarrow \text{Minerva}$$

Lepton current universality

$$\mu^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu \quad \tau_\mu = 2.2 \times 10^{-6} \text{ sec}$$

$$\mu^- \rightarrow e \gamma$$

$$J_r^{(1)} = J_r^{(a)} + J_r^{(r)} + J_r^{(c)} =$$

$$\bar{\nu}_e \gamma_\mu (1 - \gamma_5) e + \bar{\nu}_\mu \gamma_\mu (1 - \gamma_5) \mu + \bar{\nu}_e \gamma_\mu (1 - \gamma_5) e$$

تعريف μ, e, τ

تعريف ν_e, ν_μ, ν_τ

μ -decay

$$X \xrightarrow{m} A + B + C$$

$$\begin{cases} m = E_A + E_B + E_C \\ 0 = \vec{P}_A + \vec{P}_B + \vec{P}_C \end{cases}$$

$$E_A^2 = (m - E_B - E_C)^2 = m_A^2 + P_A^2 = m_A^2 + (\vec{P}_B + \vec{P}_C)^2$$

$$= m_A^2 + P_B^2 + P_C^2 + 2 \vec{P}_B \cdot \vec{P}_C = m^2 + E_B^2 + E_C^2 + 2 E_B E_C$$

$$- 2 m E_B - 2 m E_C$$

$$E_C = \sqrt{P_C^2 + m_C^2}$$

$$4 P_C^2 ((m - E_B)^2 - P_B^2 \cos^2 \theta) + 4 P_B P_C \cos \theta (m^2 + m_B^2 + m_C^2$$

$$- m_A^2 - 2 m E_B) + 4 m_C^2 (m - E_B)^2 - (m^2 + m_B^2 + m_C^2 - m_A^2$$

$$- 2 m E_B)^2 = 0$$

معادلات ν

لا بد من P_C

کمترین مقدار $P_c = 0$

Last modified by: fsc

به ازای P_B مشخص

به ازای $\cos \theta = \pm 1$ ماکزیمم و مینیمم

$$\mu \rightarrow e \bar{\nu}_e \gamma_\mu \quad m_\mu, m_B, m_c \ll m$$

$$+ p_c^2 ((m - p_B)^2 - p_B^2 \cos^2 \theta) + 4 p_B p_c \cos \theta (m^2 - 2 m p_B) - m^2 (m - 2 p_B)^2 = 0$$

$$\cos \theta = 1$$

$$p_c = \frac{4 p_B m (m - 2 p_B) \pm \sqrt{16 p_B^2 (m^2 (m - 2 p_B)^2 + 16 m^3 (m - 2 p_B)^3)}}{8 m (m - 2 p_B)}$$

$$= \frac{-p_B m (m - 2 p_B) \pm m (m - 2 p_B) (m - p_B)}{2 m (m - 2 p_B)} = \frac{m}{2} - p_B$$

$$\cos \theta = -1$$

$$p_c = \frac{4 p_B m (m - 2 p_B) \pm \sqrt{16 p_B^2 m^2 (m - 2 p_B)^2 + 16 m^3 (m - 2 p_B)^3}}{8 m (m - 2 p_B)}$$

$$= \frac{m}{2}$$

$$\frac{m}{2} - p_B \leq p_c \leq \frac{m}{2}$$

همین طور $p_B \leq \frac{m}{2}$ بنابراین اگر p_B مشخص کنیم

$$p_c \leq \frac{m}{2}$$

$$d\Gamma = \frac{1}{2 E_\gamma} |\overline{M}|^2 dR$$

$$dR = \frac{d^3 \vec{p}_c}{(2\pi)^3 2 E_c} \frac{d^3 \vec{k}_{\nu_e}}{(2\pi)^3 2 \omega_{\nu_e}} \frac{d^3 \vec{k}_{\gamma}}{(2\pi)^3 2 \omega_\gamma} (2\pi)^4 \delta^4(p_\mu - p_c - k_\gamma - k_{\nu_e})$$

$$= \frac{1}{(2\pi)^5} \frac{d^3 \vec{p}_c}{2 E_c} \frac{d^3 \vec{k}_{\nu_e}}{2 \omega_{\nu_e}} \theta(E_\mu - E_c - \omega_{\nu_e}) \delta((p_\mu - p_c - k_{\nu_e})^2)$$

چهارمکانه

$$\theta(E_\mu - E_c - \omega_{\nu_e}) \delta((E_\mu - E_c - \omega_{\nu_e})^2 - (\underbrace{\vec{k}_\mu - \vec{k}_c - \vec{k}_{\nu_e}}_{\vec{k}_\gamma})^2)$$

$$= \theta(E_\mu - E_c - \omega_{\nu_e}) \delta((E_\mu - E_c - \omega_{\nu_e} - |\vec{k}_\gamma|)(E_\mu - E_c - \omega_{\nu_e} + |\vec{k}_\gamma|))$$

در تابع 0 شود

$$\left(\delta(f) = \frac{\delta(x-x_0)}{|f'|} \text{ where } f(x_0)=0 \right)$$

$$\frac{\delta(E_\mu - E_e - \omega_{\nu_e} - \omega_{\nu_\mu})}{2 \omega_{\nu_\mu}}$$

$$\overline{|M|^2} = \frac{1}{2} \sum_{\text{spin}} |M|^2$$

میانگین روی اسپین های اولیه
جمع روی اسپین ذرات نهایی

$$\mu^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu \quad V = \frac{G_F}{\sqrt{2}} J_\mu^{(\nu)} (J^{(\mu)})^\dagger$$

$$J_\mu^{(\nu)} = \bar{\nu}_\mu \gamma_\mu (1-\gamma_5) \mu \quad J_\mu^{(e)} = \bar{e} \gamma_\mu (1-\gamma_5) e$$

$$M = i \frac{G_F}{\sqrt{2}} [\bar{u}(k_{\nu_\mu}) \gamma_\mu (1-\gamma_5) u(p_\mu)] [\bar{u}(p_e) \gamma^\mu (1-\gamma_5) v(k_{\nu_e})]$$

نشان دهنده
عد

$$A^\mu \text{ عد} \quad A^\mu = A^\dagger \quad A = BCD \quad A^\mu = D^\dagger C^\dagger B^\dagger$$

$$\frac{1}{2} \sum_{\text{spin}} |M|^2 =$$

$$k = k^\mu \gamma_\mu \quad \text{تکانه های}$$

$$\frac{1}{2} \frac{G_F^2}{2} \sum_{\text{spin}} \left[\bar{u}(k_{\nu_\mu}) \gamma_\mu (1-\gamma_5) u(p_\mu) \bar{u}(p_e) \gamma_\mu (1-\gamma_5) u(k_{\nu_e}) \right]$$

$$\times \sum_{\text{spin}} \left[\bar{u}(p_e) \gamma^\mu (1-\gamma_5) v(k_{\nu_e}) \bar{v}(k_{\nu_\mu}) \gamma_\mu (1-\gamma_5) u(p_\mu) \right]$$

$$= \frac{G_F^2}{4} \text{Tr} [\not{k}_{\nu_\mu} \gamma_\mu (1-\gamma_5) (\not{p}_\mu - m_\mu) \gamma_\mu (1-\gamma_5)] \times$$

$$\text{Tr} [\not{p}_e \gamma^\mu (1-\gamma_5) \not{k}_{\nu_e} \gamma_\mu (1-\gamma_5)]$$

$$= 64 G_F^2 (k_{\nu_e} \cdot p_\mu) (k_{\nu_\mu} \cdot p_e)$$

$$\sum_s u^s \bar{u}^s = \not{k} + m \quad \sum_s v^s \bar{v}^s = \not{k} - m$$

$$m_\nu \ll m_e \ll m_\mu$$

$$p_\mu = (m_\mu, 0, 0, 0) \quad \left. \begin{array}{l} p_\mu \cdot k_{\nu_e} = m_\mu \omega_{\nu_e} \\ k_{\nu_e} = (\omega_{\nu_e}, 0, 0, \omega_{\nu_e}) \end{array} \right\}$$

$$k_{\nu_e} = (\omega_{\nu_e}, 0, 0, \omega_{\nu_e})$$

$$k_{\nu_\mu} \cdot p_e = \frac{(k_{\nu_\mu} + p_e)^2 - p_e^2 - k_{\nu_\mu}^2}{2} = \frac{(p_\mu - k_{\nu_e})^2}{2}$$

$$= \frac{m_\mu^2 - 2 k_{\nu_e} \cdot p_\mu}{2} = \frac{m_\mu^2 - 2 m_\mu \omega_{\nu_e}}{2}$$

در کتاب یک اشتباه باری هست (بالای معادله 2.36)

$$d\Gamma = \frac{G_F^2}{2m_\mu^5} \frac{d^3 p_e}{2E_e} \frac{d^3 k_{\nu_e}}{2\omega_{\nu_e}} m_\mu \omega_{\nu_e} (m_\mu^2 - 2m_\mu \omega_{\nu_e})$$

$$\times \delta(m_\mu^2 - 2m_\mu E_e - 2m_\mu \omega_{\nu_e} + 2E_e \omega_{\nu_e} (1 - \cos\theta))$$

$$d^3 p_e d^3 k_{\nu_e} = 4\pi E_e^2 dE_e (2\pi) \omega_{\nu_e}^2 d\omega_{\nu_e} d\cos\theta$$

$$\frac{d\Gamma}{dE_e} = \int_{\frac{m_\mu}{2} - E_e}^{\frac{m_\mu}{2}} \frac{d\Gamma}{dE_e d\omega_{\nu_e}} d\omega_{\nu_e} = \frac{G_F^2 m_\mu^2 E_e^2}{4\pi^3} \left(1 - \frac{4}{3} \frac{E_e}{m_\mu}\right)$$

$$\Gamma = \tau_\mu^{-1} = \frac{G_F^2 m_\mu^5}{4\pi^3} \int_0^{\frac{m_\mu}{2}} dE_e E_e^2 \left(1 - \frac{4}{3} \frac{E_e}{m_\mu}\right) = \frac{G_F^2 m_\mu^5}{192\pi^3}$$

$$\tau_\mu \approx 2.2 \times 10^{-6} \text{ sec} \Rightarrow G_F = 1.166 \times 10^{-5} \text{ GeV}^{-2}$$

$$G_F = 1.147 \times 10^{-5} \text{ GeV}^{-2} \quad \text{یادداشت}$$

2٪ اختلاف

$$\Gamma(\tau^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\tau) = \left(\frac{G_F}{G_e}\right)^2 \left(\frac{m_\mu}{m_\tau}\right)^5 \Gamma(\mu^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu)$$

$$\frac{G_e}{G_F} = 1.001 \rightarrow \text{Universality}$$

$$\Gamma(\tau^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\tau) = \tau_\tau^{-1} \text{Br}(\tau^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\tau)$$

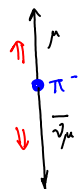
$$G_F = G_\mu$$

↑
در اندازه گیری G_F

وابستگی باریون

$$\begin{array}{c} \pi^- \longrightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu \\ e^- + \bar{\nu}_e \end{array}$$

$$\frac{\Gamma(\pi^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e)}{\Gamma(\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu)} = 1.23 \times 10^{-4}$$



مشاهده: μ^- اسپین $+\frac{1}{2}$ دارد.

نتیجه: برای تکانه (S-wave +)

$\bar{\nu}_\mu$ نیز اسپین مثبت دارد.

$$\bar{\nu}_\mu \text{ تکانه} = (k, 0, 0, k)$$

$$u = \sqrt{2k} \begin{bmatrix} 0 \\ \xi_2 \\ \xi_1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad v = \sqrt{2k} \begin{bmatrix} 0 \\ \xi_2 \\ -\xi_1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$C\psi C = -i\gamma^2 \psi^*$$

$$u \xrightarrow{C} \frac{1}{\sqrt{2k}} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \xi_2^* \\ -\xi_1^* \\ 0 \end{bmatrix} = \sqrt{2k} \begin{bmatrix} 0 \\ -\xi_1^* \\ \xi_2^* \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \xrightarrow{C} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

چپ دست

$$h = -\frac{1}{2}$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \xrightarrow{C} \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

راست دست
 $h = \frac{1}{2}$

$$[\bar{\nu}_e \gamma_\mu (1-\gamma_5) e]^+ = e^+ (1-\gamma_5) \gamma_\mu^+ \gamma^+ \nu_e$$

$$\gamma^{0+} = \gamma^0 \quad (\gamma^i)^+ = -\gamma^i$$

$$\gamma^0 \gamma^0 = \gamma^0 \gamma^0 \quad \gamma^i \gamma^i = -\gamma^i \gamma^i$$

$$[\bar{\nu}_e \gamma_\mu \frac{(1-\gamma_5)}{2} e]^+ = \bar{e} \gamma_\mu \frac{(1-\gamma_5)}{2} \nu_e$$

$$u_e = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{نوترینوی چپ دست را برین می برد}$$

$$\nu_e = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{آنچه نوترینوی راست دست را موجودی آورد}$$

فصل ۵.۵ وایسک اینسید

$$\sum_{\sigma} u_{m\pm}(0, \sigma) J_{\sigma\sigma}^{(0)} = \sum_m \frac{1}{2} \sigma_{mm} u_{m\pm}(0, \sigma)$$

$$-\sum_{\sigma} \nu_{m\pm}(0, \sigma) J_{\sigma\sigma}^{(0)*} = \sum_m \frac{1}{2} \sigma_{mm}^* \nu_{m\pm}(0, \sigma)$$

$$k' = (k, 0, 0, k)$$

ذوی مایورانا

$$\psi = \begin{bmatrix} \psi_L \\ \psi_R \end{bmatrix}$$

$$\psi_L = \begin{bmatrix} - \end{bmatrix} a_{\downarrow} + \begin{bmatrix} - \end{bmatrix} a_{\uparrow}^{c\dagger}$$

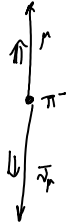
$$\psi_R = \begin{bmatrix} - \end{bmatrix} a_{\uparrow} + \begin{bmatrix} - \end{bmatrix} a_{\downarrow}^{c\dagger}$$

$$\text{ذوی مایورانا: } \psi^c = \psi$$

$$\psi = -i\gamma^2 \psi^* \rightarrow \begin{cases} a_{\downarrow} = a_{\downarrow}^c \\ a_{\uparrow} = a_{\uparrow}^c \end{cases}$$

خاصیت ذوی مایورانا

$$\nu \downarrow \neq \bar{\nu} \uparrow$$

$\pi^- \rightarrow$


41/2 سبب هستی

$$\begin{pmatrix} \sqrt{p \cdot \sigma} \xi \\ \sqrt{p \cdot \bar{\sigma}} \xi \end{pmatrix} \quad \sqrt{p \cdot \sigma} \xi = \begin{pmatrix} \sqrt{E - p_z} \\ \sqrt{E + p_z} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \end{pmatrix}$$

$$m \neq 0 \Rightarrow E - p_z \neq 0$$

$$\frac{\Gamma(\pi^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e)}{\Gamma(\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu)} \approx 1.23 \times 10^{-4}$$

$$\pi^- \rightarrow \bar{l}(\rho) \bar{\nu}_l(k) \quad v_z \frac{G}{\sqrt{2}} \bar{\psi}_r^\pi \psi_r^{(l)}$$

$$M = \frac{G}{\sqrt{2}} \langle 0 | \bar{\psi}_r^\pi | \pi^-(q) \rangle \bar{u}_l \gamma^\mu (1 - \gamma_5) \psi_\mu^{(l)}(k)$$

$$\langle 0 | \bar{\psi}_r^\pi | \pi^-(q) \rangle = f_\pi \not{q}$$

$$\Gamma(\pi^- \rightarrow l^- + \bar{\nu}_l) = \frac{G^2}{8\pi} f_\pi^2 m_\pi m_l^2 \left(1 - \frac{m_l^2}{m_\pi^2}\right)^2$$

$$\frac{\Gamma(\pi^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e)}{\Gamma(\pi^- \rightarrow \mu^- \bar{\nu}_\mu)} = \left(\frac{m_e}{m_\mu}\right)^2 \left(\frac{m_\pi^2 - m_e^2}{m_\pi^2 - m_\mu^2}\right)^2 = 1.28 \times 10^{-4}$$

$$\bar{\psi}_r^\pi = \bar{u} \gamma^\mu (1 - \gamma_5) d$$

$$\tau_{\pi^-} = 2.6 \times 10^{-8} \text{ sec}$$

$$f_\pi \approx 0.92 m_{\pi^-}$$

میان های کسبی

$$\bar{\psi}_r^{(h)} = \cos \theta_c \bar{\psi}_r^{(0)} + \sin \theta_c \bar{\psi}_r^{(1)}$$

$\downarrow$ Cabibbo $\Delta S = 0$ $\Delta S = 1$

Semileptonic hadronic weak decay

$$\frac{G}{\sqrt{2}} (\bar{\psi}_r^{(h)} \psi_r^{(l)})$$

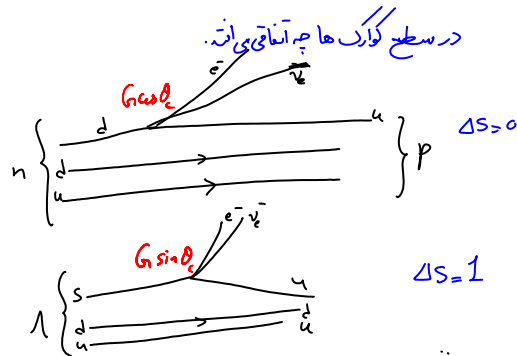
$$\frac{\Gamma(K^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu)}{\Gamma(\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu)} = \frac{\sin^2 \theta_c}{\cos^2 \theta_c} \frac{f_K^2}{f_\pi^2} \frac{m_K}{m_\pi} \frac{(1 - \frac{m_\mu^2}{m_K^2})}{(1 - \frac{m_\mu^2}{m_\pi^2})}$$

SU(3)

$$\begin{pmatrix} u \\ d \\ s \end{pmatrix} \rightarrow f_\pi = f_K \rightarrow \sin \theta_c \approx 0.22$$

$$K^- \rightarrow \pi^0 + e^- + \bar{\nu}_e \quad (1075) \quad \sin \theta_c = 0.220$$

$$\Lambda \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e \quad (983) \quad \sin \theta_c \approx 0.23$$



Spectator ناظر

$$V_{CKM} = \begin{bmatrix} U_{ud} & U_{us} & U_{ub} \\ U_{cd} & U_{cs} & U_{cb} \\ U_{td} & U_{ts} & U_{tb} \end{bmatrix}$$

$$U = \begin{bmatrix} u \\ c \\ t \end{bmatrix} \quad D = \begin{bmatrix} d \\ s \\ b \end{bmatrix}$$

شماره های مجاور

$$J_{ch}^* = \sum_{\substack{i \in \{u, c, t\} \\ j \in \{d, s, b\}}} (V_{CKM})_{ij}^* \bar{U}_i \gamma^\mu \frac{(1-\gamma_5)}{2} D_j$$

$$V_{CKM} = \begin{bmatrix} c_{12}c_{13} & s_{12}c_{13} & s_{13}e^{-i\delta} \\ -s_{12}c_{23}-c_{12}s_{23}s_{13}e^{i\delta} & c_{12}c_{23}-s_{12}s_{23}s_{13}e^{i\delta} & s_{23}c_{13} \\ s_{12}s_{23}-c_{12}c_{23}s_{13}e^{i\delta} & -s_{23}c_{12}-s_{12}c_{23}s_{13}e^{i\delta} & c_{23}c_{13} \end{bmatrix}$$

پارامتری کردن استاندارد.

فقط یک فاز
 $\delta \neq 0$

یک ماتریس یکسانی 3×3 چندتا فاز دارد.

یک ماتریس متعامد حقیقی $n \times n$ چندتا پارامتر آزاد دارد.

$$n^2 - n - \frac{n(n-1)}{2} = \frac{n^2 - n}{2}$$

$$n=2 \Rightarrow \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}$$

ماتریس $n \times n$ یکانی

$$2n^2 - n - 2 \times \frac{n(n-1)}{2} = n^2$$

$$\frac{n^2 - \frac{n^2 - n}{2}}{\text{تار}} = \frac{n^2 + n}{2}$$

$$n=3 \rightarrow 5 \text{ تار}$$

$$\psi \rightarrow e^{i\varphi} \psi$$

$$\bar{\psi} \psi \rightarrow \text{خودش}$$

$$\bar{\psi} \psi \rightarrow \text{خودش}$$

$$u \rightarrow e^{i\varphi_u} u$$

$$d \rightarrow e^{i\varphi_d} d$$

$$2n-1 \rightarrow$$

ماده خبیثی

$$\frac{n^2 + n}{2} - (2n-1) = \frac{n^2 - 3n + 2}{2} \quad \text{تار، میکلی}$$

$$n=3 \rightarrow \text{یک تار}$$

$$n=2 \rightarrow \text{منزله}$$

باد منسل نفوذ CP نداریم.

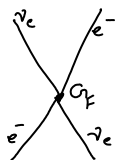
$$\theta_{12} \approx \theta_c \quad \text{زاویه کبیو}$$

$$G_F = G_Y \cos \theta_c \quad \cos \theta_c \approx 0.975$$

$$G_F (\bar{u} \gamma^\mu (1 - \gamma_5) u) (\bar{e} \gamma_\mu (1 - \gamma_5) e)$$

$$G_F (\bar{\mu} \gamma^\mu (1 - \gamma_5) \nu_\mu) (\bar{\nu}_e \gamma_\mu (1 - \gamma_5) e)$$

مشکلات برهمکنش فرمی



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

$$M = \frac{G_F}{\sqrt{2}} [\bar{u}_{\nu_e}(k) \gamma_\mu (1 - \gamma_5) u_e] [\bar{u}_e \gamma^\mu (1 - \gamma_5) u_{\nu_e}(k)]$$

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{|M|^2}{4\pi^2 s} = \frac{G_F^2 s}{4\pi^2}$$

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{|\overline{M}|^2}{4\pi^2 s} = \frac{G_F^2 s}{4\pi^2}$$

Froissart bound

$$\sigma_{tot} < (Lns)^2$$

برای
ص

partial wave

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = |f(\theta)|^2 = \left| \frac{1}{2ik} \sum_{l=0}^{\infty} (2l+1) f_l P_l(\cos\theta) \right|^2$$

$$|f_l| \leq 1$$

شرط یکای بودن

فصل ۲ Perkins

$$\psi_i = \frac{e^{ikz}}{N} = \frac{1}{N} \frac{i}{2kr} \sum_l (2l+1) [(-1)^l e^{-kri} + e^{ikr}] P_l(\cos\theta)$$

$$\psi_{scatter} = \frac{e^{ikr}}{r} \frac{1}{2ik} \sum_{l=0}^{\infty} (2l+1) f_l P_l(\cos\theta)$$

$$\text{یکای} \int |\psi_i + \psi_{scatter}|^2 r^2 dr d\cos\theta$$

$$= \int |f_l|^2 k^2 dr d\cos\theta$$

↓

$$f_l \leq 1$$

$$\text{در چگالش نظری} \quad f_0 \neq 0 \quad f_l = 0 \quad l > 0$$

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \text{نات}$$

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{|f_0|^2}{4E^2} < \underbrace{\frac{1}{4E^2}}_{\text{یکای بودن}}$$

$$E \geq \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{\pi}{G_F}} \approx 370 \text{ GeV}$$

مراتب بالای اختلال ارضاع را بدست می‌دهد.

باز بهنجار را بدست می‌دهد

بعد از آن حساب کنید.

مثال

$$1.9 \cdot 10^{-17} \text{ m}^{-1}$$

$$[L d^4x] = 1 \quad [X] = M^{-1}$$

$$[L] = M^4$$

$$\text{اشاره} \quad \partial_\mu \varphi \delta^\mu \varphi \quad [\varphi] = M$$

$$\text{میلان برداری} \quad m^\dagger V_\mu V^\mu \quad [V_\mu] = M$$

$$\text{میلان اسپینری} \quad \bar{\psi} \not{X} \psi \quad [\psi] = M^{3/2}$$

محاسبات حلقه بی نهایت های غیر قابل کنترلی دهه.

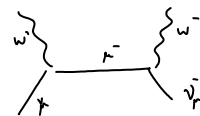


$$\ominus \int \frac{d^4k}{(2\pi)^4} \frac{k^\mu k^\mu}{k^2 k^2} \propto \Lambda^2$$

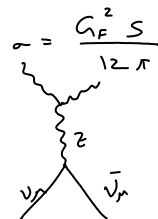
Intermediate Weak boson

$$M = - \left[\frac{g}{\sqrt{2}} \bar{u}_\mu \gamma_\mu \frac{1-\gamma_5}{2} u_\mu \right] \frac{-g^{\mu\nu} + \frac{q^\mu q^\nu}{q^2 - m_W^2}}{g^2 - m_W^2} \left[\frac{g}{\sqrt{2}} \bar{e}_\nu \gamma_\nu \frac{1-\gamma_5}{2} e_\nu \right]$$

$$\frac{G_F}{\sqrt{2}} = \frac{g^2}{8m_W^2}$$



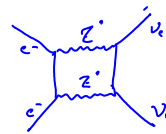
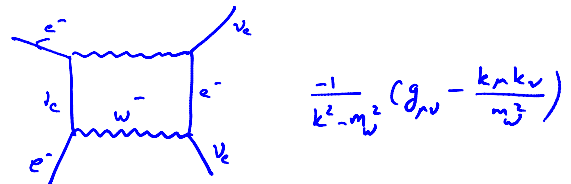
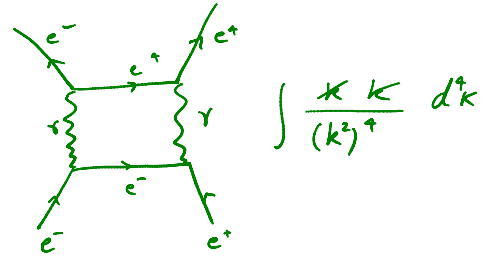
$$M = \left(\frac{g}{\sqrt{2}} \right)^2 \underbrace{\epsilon_\mu^\alpha \epsilon_\nu^\beta}_{\text{polarization vector}} \bar{v}(p) \gamma^\mu \frac{1-\gamma_5}{2} \frac{\not{p} - \not{k} + m_f}{(p-k)^2 - m_f^2} \gamma^\nu \frac{1-\gamma_5}{2} u$$

$$\sigma = \frac{G_F^2 S}{12\pi}$$




نشان است





Precise B , B_c , B_s meson spectroscopy
from full lattice QCD

Peter Lepage

$\Delta m_B \approx 10 \text{ MeV}$

← مباح

$$\varphi_1 \dots \varphi_n \quad \psi_1 \dots \psi_n$$

$$M_{ij} \varphi_i^\dagger \psi_j$$

چندتا فاز رای به جیکدو

$$2n-1 \quad \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \vdots \\ \varphi_n \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} e^{i\alpha_1} & & \\ & e^{i\alpha_2} & \\ & & \ddots \\ & & & e^{i\alpha_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \psi_1 \\ \psi_2 \\ \vdots \\ \psi_n \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \psi_1 \\ \vdots \\ \psi_n \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} e^{i\beta_1} & & \\ & e^{i\beta_2} & \\ & & \ddots \\ & & & e^{i\beta_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \vdots \\ \varphi_n \end{bmatrix}$$

$$\left. \begin{aligned} \alpha_i &\rightarrow \alpha_i - \theta \\ \beta_i &\rightarrow \beta_i + \theta \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{فاز} \\ \text{آش و فان} \\ \text{کامه!} \end{array}$$

$2n-1$ تعداد فازهای مستقل باقی میماند

$\sin \theta_c$ معادله

$$j^{(h)} = \cos \theta_c \mathcal{J}_r^{(h)} + \sin \theta_c \mathcal{J}_r^{(1)}$$

$$j^{(h)} = \cos\theta_c \begin{matrix} J_r^{(0)} \\ \downarrow \\ \Delta S=0 \end{matrix} + \sin\theta_c \begin{matrix} J_r^{(1)} \\ \downarrow \\ \Delta S=1 \end{matrix}$$