۲۰۱۰/۱۰/۰۷
۱۰:۵۹ ق.ظ

ISO SPIN

مزون های کوارک های سبک u, d, s

pseudo scalar mesons $S = 0$

vector mesons $S = 1$

$SU(2)$ $\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}$

مرجع:
Particles and Nuclei an introduction to the Physical concepts, Povh Rith Scholz Zetsche

فصل ۱٤

جزوه ی آقای دکتر آرش

برهمکنش قوی هم I^2 و هم I_z را پایسته نگاه ی دارد.

$\rho^0 \quad \rho^{\pm}$

$\rho^0 \rightarrow \pi^+\pi^- \quad \cancel{\pi^0\pi^0}$

برهمکنش الکترومغناطیس I_z راپایسته نگاه ی دارد

$\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$

$I_z(\pi^0) = I_z(\gamma\gamma) = 0 \quad \begin{cases} I^2(\pi^0) \neq 0 \\ I^2(\gamma\gamma) = 0 \end{cases}$

$I_z(u) - I_z(d) = Q(u) - Q(d)$

$Q = I_3 + \frac{B+S}{2}$

رابطه گلمان - نیشیجیما

برهمکنش ضعیف هر دو را نقض می کند:

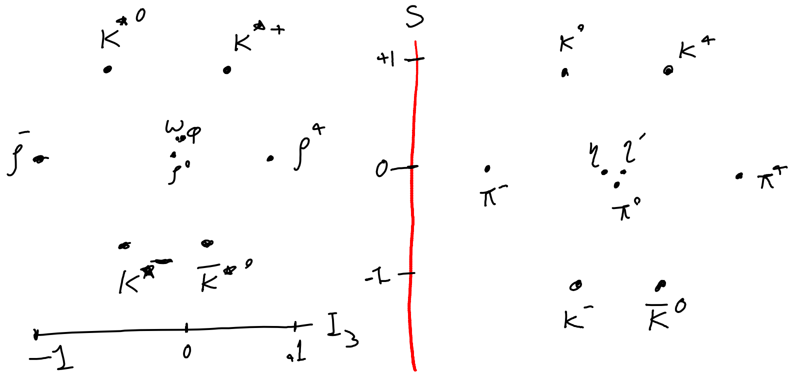
$\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$

$I_z(\pi^+) = 1 \qquad I_z(\mu^+\nu_\mu) = 0$

$SU(3)$ $\begin{pmatrix} u \\ d \\ s \end{pmatrix}$ $\quad s \rightarrow$ strageness $= -1$

$\bar{s} \rightarrow$ 〃 $= +1$

راه هشتگانی مزون ها



Vector mesons $\qquad\qquad$ Pseudo scalars

$J^P = 1^-$ $\qquad\qquad$ $J^P = 0^-$

$|\rho^+\rangle = |u^\uparrow \bar{d}^\uparrow\rangle \quad |\rho^-\rangle = |\bar{u}^\uparrow d^\uparrow\rangle$

$|\rho^0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(|u^\uparrow \bar{u}^\uparrow\rangle - |d^\uparrow \bar{d}^\uparrow\rangle\right)$

$|\omega\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\left(|u^\uparrow \bar{u}^\uparrow\rangle + |d^\uparrow \bar{d}^\uparrow\rangle\right)$

$|\varphi\rangle = |s^\uparrow \bar{s}^\uparrow\rangle$

$|K^{*-}\rangle = |s^\uparrow \bar{u}^\uparrow\rangle \quad |\bar{K}^{*0}\rangle = |s^\uparrow \bar{d}^\uparrow\rangle$

$|K^{*+}\rangle = |u^\uparrow \bar{s}^\uparrow\rangle \quad |K^{*0}\rangle = |d^\uparrow \bar{s}^\uparrow\rangle$

$|K^+\rangle = |u^\uparrow \bar{s}^\downarrow\rangle \ \cdots$

$|\eta\rangle \cong |\eta_8\rangle = \frac{|u^\uparrow \bar{u}^\downarrow\rangle + |d^\uparrow \bar{d}^\downarrow\rangle - 2|s^\uparrow \bar{s}^\downarrow\rangle}{\sqrt{6}}$

$|\eta'\rangle \cong |\eta_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}}\left(|u^\uparrow \bar{u}^\downarrow\rangle + |d^\uparrow \bar{d}^\downarrow\rangle + |s^\uparrow \bar{s}^\downarrow\rangle\right)$

درواقع $|\eta\rangle$ و $|\eta'\rangle$ (ویژه حالت‌های جرم) از آمیختگی $|\eta_1\rangle$ و $|\eta_8\rangle$ حاصل می‌شوند. یعنی

$$|\eta\rangle = \cos\theta\, |\eta_8\rangle + \sin\theta\, |\eta_1\rangle$$

$$|\eta'\rangle = -\sin\theta\, |\eta_8\rangle + \cos\theta\, |\eta_1\rangle$$

$\theta \ll 1 \qquad \eta \simeq \eta_8 \qquad \eta' \approx \eta_1$

درآمیختگی به خاطر شکست تقارن $SU(3)$ توسط جرم s است

الکترومغناطیس $\qquad$ جرم کوارک‌ها + برهم‌کنش قوی $\qquad$ برهم‌کنش‌های قوی

الکترومغناطیس | جرم کوارک‌ها + برهم‌کنش قوی | برهم‌کنش‌های قوی

I_3 | $SU(2)$ ایزواسپین (I_3, I^2) | $SU(3)$

بقای S

البته تقارن C هم دارد.

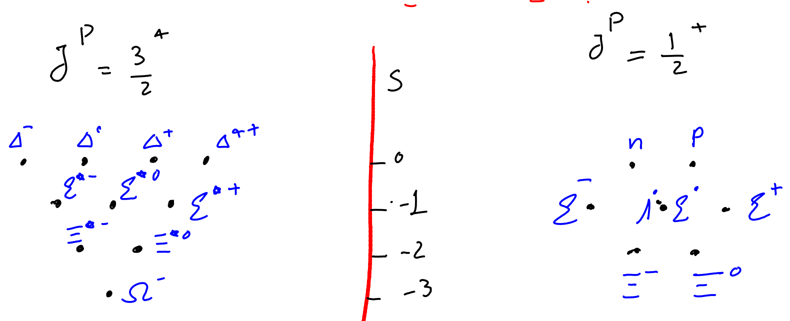
میدان ها با اعداد کوانتومی یکسان درهم می‌آمیزند:

η و η' $(\eta_1$ و $\eta_8)$ با بار الکتریکی یکسان (0) و شگفتی یکسان (0) دارند. اما تحت $SU(3)$ رفتار متفاوتی دارند.

دقت کنید در مورد مزون‌های برداری ω و φ درآمیختگی بیشتر است.

$$|\varphi\rangle = |s^{\uparrow}\bar{s}^{\uparrow}\rangle \qquad |\omega\rangle = \frac{|u^{\uparrow}\bar{u}^{\uparrow}\rangle + |d^{\uparrow}\bar{d}^{\uparrow}\rangle}{\sqrt{2}}$$

چندتایی های باریون‌ها



یونانی را پاس بداریم!

Ξ ξ Xi

یونانی کسی

تلفظ انگلیسی زای ـ سای

Z ζ Zeta

$$|\Delta^{++}\rangle = |u^{\uparrow}u^{\uparrow}u^{\uparrow}\rangle \qquad |p^{\uparrow}\rangle = |u^{\uparrow}u^{\uparrow}d^{\downarrow}\rangle$$

$$|\Delta^{+}\rangle = |u^{\uparrow}u^{\uparrow}d^{\uparrow}\rangle \qquad |n^{\uparrow}\rangle = |u^{\downarrow}d^{\uparrow}d^{\uparrow}\rangle$$

$|\Delta^0\rangle = |u^\uparrow d^\uparrow d^\uparrow\rangle$

$|\Delta^-\rangle = |d^\uparrow d^\uparrow d^\uparrow\rangle$

$|\Sigma^{*+}\rangle = |u^\uparrow u^\uparrow s^\uparrow\rangle$

$|\Sigma^{*0}\rangle = |u^\uparrow d^\uparrow s^\uparrow\rangle$

$|\Sigma^{*-}\rangle = |d^\uparrow d^\uparrow s^\uparrow\rangle$

$|\Xi^{*0}\rangle = |u^\uparrow s^\uparrow s^\uparrow\rangle$

$|\Xi^{*-}\rangle = |d^\uparrow s^\uparrow s^\uparrow\rangle$

$|\Omega^-\rangle = |s^\uparrow s^\uparrow s^\uparrow\rangle$

$|\Lambda^0\rangle = |u^\uparrow d^\downarrow s^\uparrow\rangle$

Δ resonance

در واقع در بالا سهوی نوشته‌ام. بایستی که متقارن می‌کردم:

$$|\Delta^+\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}}\left\{|u^\uparrow u^\uparrow d^\uparrow\rangle + |u^\uparrow d^\uparrow u^\uparrow\rangle + |d^\uparrow u^\uparrow u^\uparrow\rangle\right\}$$

$|\Delta^{++}\rangle = |u^\uparrow u^\uparrow u^\uparrow\rangle \qquad I_-|\Delta^{++}\rangle \Rightarrow |\Delta^+\rangle$ متقارن:

$$|p\rangle = \frac{1}{\sqrt{18}}\{2|u^\uparrow u^\uparrow d^\downarrow\rangle + 2|u^\uparrow d^\downarrow u^\uparrow\rangle + 2|d^\downarrow u^\uparrow u^\uparrow\rangle - |u^\uparrow u^\downarrow d^\uparrow\rangle - |u^\uparrow d^\uparrow u^\downarrow\rangle - |d^\uparrow u^\uparrow u^\downarrow\rangle - |u^\downarrow u^\uparrow d^\uparrow\rangle - |u^\downarrow d^\uparrow u^\uparrow\rangle - |d^\uparrow u^\downarrow u^\uparrow\rangle\}$$

$I^+|p\rangle = 0$

در بحث زیر از جزوه ی دکتر آرش استفاده کردم

Δ - resonance

با استفاده از ایزواسپین می‌خواهیم آهنگ فرآیندهای زیر را مقایسه کنیم:

$\pi^+ + p \to \pi^+ + p \qquad \pi^- + p \to \pi^0 + n$

$$\pi^- + p \to \pi^- + p \qquad \pi^- + n \to \pi^- + n$$

$$|I \quad I_z\rangle$$

با استفاده از جداول Clebsh - Gordon

$$|\pi^+ \; p\rangle = |\tfrac{3}{2}, +\tfrac{3}{2}\rangle$$

$$|\pi^- \; p\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}}|\tfrac{3}{2}, -\tfrac{1}{2}\rangle - \sqrt{\tfrac{2}{3}}\,|\tfrac{1}{2}, -\tfrac{1}{2}\rangle$$

$$|\pi^0 \; n\rangle = \sqrt{\tfrac{2}{3}}\,|\tfrac{3}{2}, -\tfrac{1}{2}\rangle + \sqrt{\tfrac{1}{3}}\,|\tfrac{1}{2}, -\tfrac{1}{2}\rangle$$

برای اثبات عدم بستگی دامنه به m بحث آخرین فایل را ببینید.

$$|\pi^- \; n\rangle = |\tfrac{3}{2}, -\tfrac{3}{2}\rangle$$

$$\delta_{m,m'} A_{\frac{3}{2}} = {}_{out}\langle \tfrac{3}{2}, m | \tfrac{3}{2}, m'\rangle_{in} \qquad \delta_{m,m'} A_{\frac{1}{2}} = {}_{out}\langle \tfrac{1}{2}, m | \tfrac{1}{2}, m'\rangle_{in}$$

$$\sigma(\pi^+ \; p \to \pi^+ p) = K\,|A_{\frac{3}{2}}|^2$$

$$\sigma(\pi^- \; p \to \pi^0 n) = K\left|\frac{\sqrt{2}}{3} A_{\frac{3}{2}} - \frac{\sqrt{2}}{3} A_{\frac{1}{2}}\right|^2$$

$$\sigma(\pi^- p \to \pi^- p) = K\left|\frac{1}{3} A_{3/2} - \frac{2}{3} A_{\frac{1}{2}}\right|^2$$

$$\sigma(\pi^- n \to \pi^- n) = K\,|A_{3/2}|^2$$

(۱) مستقل از مقادیر $A_{3/2}$ و $A_{\frac{1}{2}}$

$$\sigma(\pi^+ p \to \pi^+ p) = \sigma(\pi^- n \to \pi^- n)$$

(۲) رزنانس Δ

$\Delta(1236)$

$I = \frac{3}{2}$

Fermi (Anderson et al 19۸۲)

$$\underset{p \text{ یا } n}{N}\,\pi \to \Delta \to \underset{\Downarrow}{N\,\pi}$$

p ≠ n

$$A_{\frac{3}{2}} \gg A_{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma(\pi^+ p \to \pi^+ p) : \sigma(\pi^- p \to \pi^- p) : \sigma(\pi^- p \to \pi^0 n) = 9:1:2$$

مشاهده : $195 : 22 : 45$ mb

$$b = \text{barn} = 10^{-24}\ \text{cm}^2$$

قصه‌ی تشدید Δ ی دکتر آرش را شنیدید. حالا

قصه‌ی سرا بشنوید

GZK

$$p\ \gamma_{CMB} \longrightarrow \Delta \longrightarrow p^+ \pi^0$$

دیگه Δ به چه می‌تواند واپاشی کند

$$|p^+ \pi^+\rangle = |\tfrac{3}{2}, \tfrac{3}{2}\rangle$$

$$a|p^+ \pi^0\rangle + b|n\, \pi^+\rangle$$

اگر انرژی پرتون از حدی که به آن حد GZK می‌گویند بالاتر

باشد فرآیند $p + \gamma_{CMB} \to \Delta^+ \to p^+ \pi^0$ اتفاق می‌افتد.

حد GZK را محاسبه کنید.

برآورد کنید در هر کدام از این فرآیندها چه مقدار از انرژی p

کم می‌شود.

مسافت پویش آزاد میانگین = 50 Mpc

G – parity

G - parity

$I^G (J^{P(C)})$

$$\hat{G} = e^{-i\pi I_y}\, \hat{C}$$

$|\pi^+\rangle \xrightarrow{C} |\pi^-\rangle \xrightarrow{e^{-i\pi I_y}} -|\pi^+\rangle$ نشان دهید *

$$G\,|\pi\rangle = -|\pi\rangle$$

همین طور

$|\pi^0\rangle \xrightarrow{G} -|\pi^0\rangle$

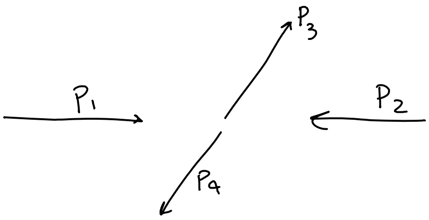
سیستم n_π تا پایون $G = (-1)^{n_\pi}$

راهنمایی به بخش ۳.۵ ساکورایی نگاهی بیاندازید.

متغیرهای مندلشتم

$\underline{u}$ $\underline{t}$ $\underline{s}$ حرف کوچک

S T U معنی دیگری دارند.



$$s \equiv (P_1 + P_2)^2$$

$$u \equiv (P_1 - P_3)^2$$

$$t \equiv (P_1 - P_4)^2$$

$$s + u + t = 3m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + m_4^2$$

$$-2P_1\cdot(P_1 + P_2) + 2P_1\cdot P_2 =$$

$$= m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + m_4^2$$

s و u و t مستقل نیستند

تنها دوتای آنها نظیر s و u مستقل هستند.

تنها دو تای آنها یعنی s و u مستقل هستند.

"t" را برای متقارن بودن معرفی می‌کنیم.

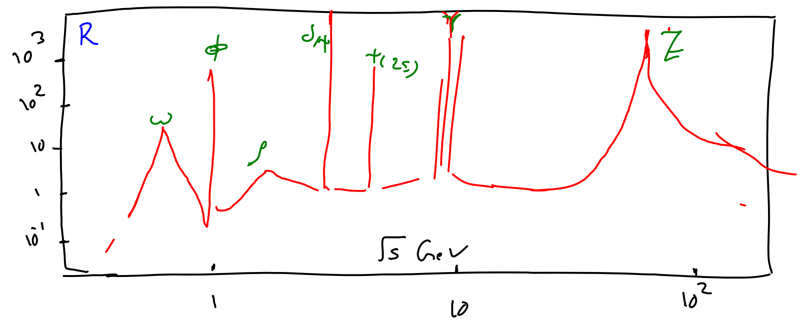
$(P_1 - P_2)^2 \rightarrow$ نام خاصی ندارد.

در دستگاه مرکز جرم: $S = (E_1 + E_2)^2$

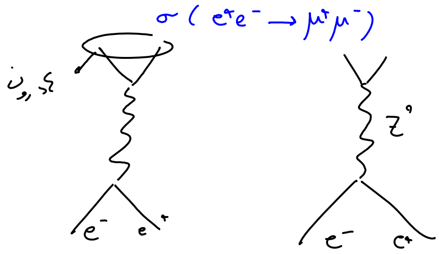
شتابگرها

آزمایشگاه CERN :	LEP	LHC	
	$e^- e^+$	pp	
آزمایشگاه فرمی :	TeVatron	$\bar{p}p$	
SLAC	$e^- e^+$		
DESY 1992 —	HERA	$e^- p$	
Brookhaven 2000	RHIC	Au Au	

PDG $\qquad e^- e^+$ collider



$$R = \frac{\sigma(e^+e^- \rightarrow \text{hadrons})}{\sigma(e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-)}$$



تمام هادرون های بالا

اسپین 1 دارند

(Vector meson)

$$\frac{1}{q^2 - m^2}$$ ذره پایدار

Breit–Wigner

$$\frac{1}{q^2 - m^2 - i\underbrace{\Gamma}_{\text{آهنگ واپاشی}} m}$$

آهنگ واپاشی ≡ پهنای قله

جرم ذره ≡ محل قله

$\boxed{J/\psi}$ $m = 3\ \text{GeV}$, $\Gamma = 91\ \text{keV}$

$\boxed{\omega}$ $m = 782\ \text{MeV}$ $\Gamma = 8.5\ \text{MeV}$

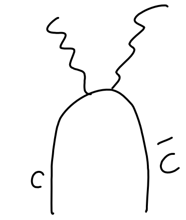
چرا J/ψ این قدر پایدار است؟

$\cancel{c\bar{c} \longrightarrow \underbrace{c\bar{u}}_{D^0}}$ $\underbrace{\bar{c}u}_{\bar{D}^0}$

$m_{D^0} = 1.8\ \text{GeV}$

$m_{\eta_c} < m_{J/\psi}$

$\underset{\text{spin } 0}{c\bar{c}}$ $\underset{\text{spin } 1}{c\bar{c}}$



$\eta_c(1^1S_0) \longrightarrow 2\gamma$

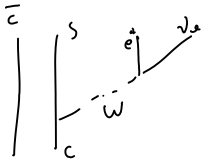
مسأله ی جایزه دار

چرا $J/\psi \to gg$ نداریم؟!

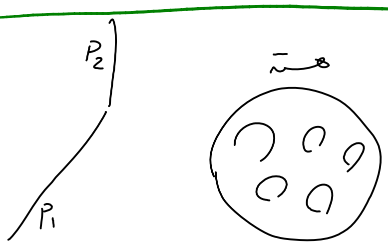
$J/\psi\ (1^3S_1) \longrightarrow ggg \longrightarrow \text{hadrons}$

$J/\psi \longrightarrow \gamma^* \longrightarrow \text{hadron}$

$J/\psi \longrightarrow \gamma^* \longrightarrow \text{leptons}$ ← 10%



$J/\psi \to D_s^- + e^+ + \nu_e$



$Q^2 = (P_1 - P_2)^2$

$Q \ll MeV$

$\sim \alpha |Z|^2$ کل هسته را می‌بینید

$\sim \alpha Z$ $\quad 1GeV \gg Q \gg MeV$

DIS $\quad Q \gtrsim 1GeV$

Deep inelastic scattering

تابع ساختار

اثبات این که $\langle I \;\; m \;|\; I, m \rangle_{in}$ (out) به m بستگی ندارد

$$I^2 |I, m\rangle = I(I+1) |I, m\rangle \qquad I_z |I,m\rangle = m |I,m\rangle$$

$$I_+ |I, m\rangle = \sqrt{(I-m)(I+m+1)}\; |I, m+1\rangle$$

$$I_- |I, m\rangle = \sqrt{(I+m)(I-m+1)}\; |I, m-1\rangle$$

یادآوری

$$(I_+)^\dagger = I_- \qquad \begin{cases} I_+ = I_x + i I_y \\ I_- = I_x - i I_y \end{cases}$$

$\langle I, m| I_- = \sqrt{(I-m)(I+m+1)}\; \langle I, m+1|$

$$I_- I_+ |I, m\rangle = (I-m)(I+m+1) |I, m\rangle$$

$$[I, e^{iHt}] = 0 \qquad \leftarrow \text{H تحت تبدیل ایزواسپین ناوردا است}$$

$$\langle I \;\; m| \; e^{iHt} \;| I \;\; m\rangle = \langle I, m| \frac{e^{iHt} I_- I_+}{(I-m)(I+m+1)} |I, m\rangle$$

$$= \frac{\langle I, m| I_- \; e^{iHt} I_+ \;|I, m\rangle}{(I-m)\;(I+m+1)} = \langle I, m+1| e^{iHt} | I, m+1\rangle$$

$\Longrightarrow$ ${}_{out}\langle I,m \,|\, I,m\rangle_{in}$ مستقل از m است.