

## محاسبه آهنگ زمانی واپاشیهای کوآرک C

شفقی، فریده؛ مهربان، حسین

دانشگاه سمنان، سمنان

### چکیده

در این تحقیق از مدل کوآرک و مدل استاندارد برای محاسبه آهنگ زمانی واپاشیهای مختلف کوآرک C در حالت شاخه ای و پنگوئن استفاده شده است. سپس بین نتایج نظری با نتایج تجربی واپاشیهای مزون D مقایسه به عمل آمده است. ملاحظه شده است که نتایج نظری و تجربی از سازگاری خوبی برخوردار هستند.

**C Quark Decay Rate**  
Shafaghi, Farideh; Mehrban, Hossein  
Semnan University, Semnan

### Abstract

In this research, we use quark model and standard model for the calculation of the decay rate of C quark in Tree-level and penguin. Then, we compare the theoretical result with the experimental values. The theoretical results are nearly similar too the observed experimental values.

PACS No. 13

مزون D دارای ساختار کوآرکی  $D_s^-(c\bar{s}), D^+(c\bar{d}), D^0(c\bar{u})$  است در نتیجه برای بررسی واپاشیهای این مزون باید گذارهای کوآرک C را در نظر بگیریم. گذارهای حالت شاخه ای و پنگوئن گلوئونی در نظر گرفته شده است که حالت شاخه ای شامل گذارهای هادرونی و نیمه لپتونی است که با مبادله بوزون W بین دو جریان باردار همراه است و حالت پنگوئن شامل گذارهای  $qq'\bar{q}'$  می باشد که کوآرکهای C و q توسط کوآرکهای داخلی b, s, d و تشکیل حلقه بوزون W با یکدیگر جفت می شوند و گسیل گلوئون کوآرکهای  $q', \bar{q}'$  را بدست خواهد داد. لاگرانژی موثر که گذارهای  $c \rightarrow u$  ضعیف را در پیمانۀ  $\mu = m_c$  توصیف می کند به صورت زیر ارائه می شود. [۲ و ۳]

$$L_{\text{eff}} = -\frac{G_F}{\sqrt{2}} [V_{cd}^* V_{ud} \sum_{i=1,2} C_i Q_i^d + V_{cs}^* V_{us} \sum_{i=1,2} C_i Q_i^s - V_{cb}^* V_{ub} \sum_{i=3,4,5,6} C_i Q_i] \quad (2)$$

$$V_{ub} \sum_{i=3,4,5,6} C_i Q_i] \quad (2)$$

$Q_i$  به ازای  $i=1,2$  عملگرهای جریان-جریان و به ازای  $i=3,4,5,6$  عملگرهای پنگوئن گلوئونی می باشد.

$$Q_1 = (\bar{q}_i c_j)_{V-A} (\bar{u}_j q_i)_{V-A} \quad (3)$$

$$Q_2 = (\bar{q}_i c_i)_{V-A} (\bar{u}_i q_i)_{V-A} \quad (4)$$

### مقدمه

واپاشیهای ضعیف هادرونها توسط برهم کنشهای ضعیف عناصر کوآرکی صورت می گیرد که تحت برهم کنشهای قوی هادرونها را شکل داده اند. چارچوب اصلی واپاشیهای ضعیف هادرونها شامل کوآرکهای b, c, s, d, u نظریه میدان موثر مربوط به پیمانۀ های  $\mu \ll M_W, M_Z, m_t$  می باشد. این چارچوب از طریق عملگرهای موضعی به صورت موثر، ناظر بر گذارها خواهد بود و تصویر مناسبی برای بررسی حضور QCD می باشد. نقطه شروع پدیده شناختی واپاشیهای ضعیف هادرونها هامیلتونین ضعیف موثر می باشد که ساختار عمومی آن به صورت زیر است. [۱]

$$H_{\text{eff}} = \frac{G_F}{\sqrt{2}} \sum V_{CKM}^i C_i(\mu) Q_i \quad (1)$$

رابطه (۱) تعمیمی از نظریه فرمی است که سالیان پیش توسط فاینمن و گلنن فرمولبندی شد که کوآرکها و لپتونها را با در نظر گرفتن برهم کنشهای قوی و الکترو ضعیف آنها در مدل استاندارد شامل می شود.  $G_F$  ثابت فرمی،  $V_{CKM}^i$  عناصر ماتریس  $C_i(\mu)$  ضرایب ویلسون و  $Q_i$  عملگرهای موضعی هستند.

انتگرال ها برای هر واپاشی به روش مونت کارلو محاسبه می شود.

$$\Gamma_0 = G_F^2 M_c^5 / 192\pi^3 \quad (16)$$

$$P_s = x \frac{M_c}{r}, P_u = y \frac{M_c}{r} \quad (17)$$

$$a = r m_s / M_c, b = r m_u / M_c, c = r m_{\bar{s}} / M_c \quad (18)$$

حال به بررسی واپاشی  $c \rightarrow q_i q_k \bar{q}_j$  در حالت کلی می پردازیم. در نتیجه جملات مربوط به حالت پنگوئن در نظر گرفته می شود. [5]

$$[(\tilde{\sigma}^\mu \tilde{\sigma}_\mu)_{Q_i, \dots, Q_f}]_{sa}^r = [(\tilde{\sigma}^\mu \tilde{\sigma}_\mu)_{LL} + (\tilde{\sigma}^\mu \tilde{\sigma}_\mu)_{LR}]_{sa}^r =$$

$$(\alpha \alpha^* / r)(1 - V_i V_K \cos \theta_{ik}) + (\beta \beta^* / r)(1 + V_k V_j \cos \theta_{kj})$$

$$- (\frac{\alpha^* \beta + \alpha \beta^*}{r}) \sqrt{1 - V_i^r} \sqrt{1 - V_j^r} \quad (19)$$

که  $\sigma^\mu = (\sigma^0, \sigma^1, \sigma^2, \sigma^3)$

$$\alpha = \left\{ \left| V_{ic} V_{jk}^* (c_l + c_r) + V_{bc} V_{bk}^* (c_r + c_f) \right|^r \right.$$

$$\left. + r \left| V_{ic} V_{jk}^* c_r + V_{bc} V_{bk}^* c_f \right|^r + r \left| V_{ic} V_{jk}^* c_l + V_{bc} V_{bk}^* c_r \right|^r \right\}^{1/r}$$

$$\beta = \left\{ \left| V_{bc} V_{bk}^* \right|^r (|c_\delta + c_\epsilon|^r + r |c_\delta|^r + r |c_\epsilon|^r) \right\}^{1/r} \quad (20)$$

$$d^r \Gamma_{Q_i, \dots, Q_f} / dx dy = \Gamma_0 f \quad (21)$$

$$f = \alpha \alpha^* f_l + \beta \beta^* f_r - \frac{(\alpha^* \beta + \alpha \beta^*)}{r} f_r \quad (22)$$

فضای فاز را معرفی می کنند.  $f_l, f_r, f_s$

جدول ۱: آهنگ زمانی واپاشیهای کوارک c

فرایند	$\Gamma (\times 10^{-15})$
$c \rightarrow sud$	۲۳۱/۵۴۱
$c \rightarrow dus$	۲/۲۳۴۶۹
$c \rightarrow sus$	۱۱/۳۳۱۱
$c \rightarrow dud$	۵۶/۳۷
$c \rightarrow se \nu_e$	۸۵/۷۶۹
$c \rightarrow s \mu \nu_\mu$	۲۹/۶۸۷
$c \rightarrow s \tau \nu_\tau$	۲۶۳/۶۲۴
$c \rightarrow de \nu_e$	۱۱/۶۱۹۴
$c \rightarrow d \mu \nu_\mu$	۶۶۶۲/۵۵
$c \rightarrow d \tau \nu_\tau$	۱۳/۴۴۱۳

در جدول (۱) آهنگ زمانی واپاشیهای نیمه لپتونی و غیر لپتونی کوارک c که بصورت نظری بدست آمده طبقه بندی شده است. واپاشیهای  $c \rightarrow sud$  و  $c \rightarrow dus$  در محدوده شاخه ای و پنگوئن (T+P) و سایر واپاشیها در حالت شاخه ای (T) بررسی شده است. نسبتهای شاخه ای هر یک از واپاشیها قابل محاسبه است.

$$Q_r = (\bar{u}_i c_i)_{V-A} (\bar{q}_j q_j)_{V-A} \quad (5)$$

$$Q_f = (\bar{u}_i c_j)_{V-A} (\bar{q}_j q_i)_{V-A} \quad (6)$$

$$Q_\delta = (\bar{u}_i c_i)_{V-A} (\bar{q}_j q_j)_{V+A} \quad (7)$$

$$Q_\epsilon = (\bar{u}_i c_j)_{V-A} (\bar{q}_j q_i)_{V+A} \quad (8)$$

نوز شاخصهای رنگ کوارک هستند. V-A نشاندهنده جریان کوارکی چپگرد-چپگرد و V+A نشاندهنده جریان راستگرد-راستگرد است.

### آهنگ زمانی واپاشی های کوارک C

از نمونه های پدیده شناختی در فیزیک ذرات بنیادی محاسبه آهنگ زمانی واپاشیهای مختلف مزونها و هادرونها در مدل استاندارد و مقایسه آن با مقادیر تجربی است. [۴]  
آهنگ زمانی گذار  $c \rightarrow sus$  را در نظر می گیریم.

$$\Gamma = V^r |M|^r \frac{d^r P_s}{(r\pi)^r} \frac{d^r P_u}{(r\pi)^r} \frac{d^r P_{\bar{s}}}{(r\pi)^r} (r\pi)^r \times$$

$$\delta^f (P_c - P_s - P_u - P_{\bar{s}}) \quad (9)$$

لاگرانژی موثر در حالت شاخه ای

$$L_{\text{eff}} = -r \sqrt{r} G_F V_{sc} V_{su}^* (s_L^\dagger \tilde{\sigma}^\mu c_L) (u_L^\dagger \tilde{\sigma}^\mu s_L) \quad (10)$$

دامنه واپاشی برای حالت اسپینی ۱/۲ کوارک c

$$M = i \frac{r \sqrt{r} G_F}{V} \frac{r\pi}{\sqrt{r}} V_{sc} V_{su}^* \delta(E_s + E_u + E_{\bar{s}} - M_c) \times$$

$$\delta_{\bar{P}_s, -(\bar{P}_u + \bar{P}_{\bar{s}})} (\tilde{\sigma}^\mu \tilde{\sigma}_\mu)_{LL} (1/r) \quad (11)$$

حالت اسپینی کوارک c، پس از میانگین گیری روی دو  $\tilde{\sigma}^\mu = (\sigma^0, -\sigma^1, -\sigma^2, -\sigma^3)$

$$[\tilde{\sigma}^\mu \tilde{\sigma}_\mu]_{sa}^r = \frac{1}{r} (1 + V_s)(1 + V_u)(1 + V_{\bar{s}})(1 - \cos \theta_{us}) \quad (12)$$

پس از میانگین گیری روی حالات هلیسسته کوارکهای نهایی  $V=P/E$

$$[\tilde{\sigma}^\mu \tilde{\sigma}_\mu]_{sa}^r = (1/r)(1 - V_s V_u \cos \theta_{us}) \quad (13)$$

$$\Gamma = r \Gamma_0 \left| V_{sc} V_{su}^* \right|^r f(x, y) \quad (14)$$

$$f(x, y) = \int_0^1 dx \int_0^1 dy \epsilon xy (r - \sqrt{x^r + a^r} - \sqrt{y^r + b^r})$$

$$\left( 1 - \frac{(r - \sqrt{x^r + a^r} - \sqrt{y^r + b^r})^r - (c^r + x^r + y^r)}{r \sqrt{x^r + a^r} \sqrt{y^r + b^r}} \right) \quad (15)$$

کائون ( $k$ ) بیشتر از پایون ( $\pi$ ) خواهد بود. مد اصلی واپاشیهای نیمه لپتونی کوآرک  $c$  بصورت  $c \rightarrow sl\nu$  می باشد که نقش غالب آن مربوط به لپتون  $\tau$  است. بدین ترتیب مد اصلی واپاشیهای نیمه لپتونی مزون  $D$  بصورت  $D \rightarrow kl\nu$  خواهد بود. ارجحیت مدهای ذکر شده از طرفی به ساختار  $V_{CKM}$  مربوط است یعنی  $V_{cs} > V_{cd}$ .

حالت شاخه ای (Tree-level)  
حالت پنگوئن (penguin)

### مراجع

- [۱] G.Buchalla and J.Buras and E.Lautenbacher; "Weak decays beyond leading logarithms"; *Rev.Mod. phys.* **68**. (1996) 1125  
 [۲] F.Buccella and M.Lusignoli; "Nonleptonic weak decays of charmed mesons"; *Phys.Rev.D* **51**. (1995)3478  
 [۳] S.Fajfer and J.kamenik; "Charm meson resonance in  $D \rightarrow Pe\nu$  decays"; *Phys. Rev.D* **71**(2005) 014020  
 [۴] R. Ticciati; "Quantum Field Theory for Mathematician". (1999)  
 [۵] W. Cottingham and H. Mehrban and I.B.Whitingham; "Hadronic B decays"; *phys. Rev D* **60** (1999) 114029  
 [۶] C.Weichiang and J.Rosner; "Final state phases in Doubly-Cabibbo-Suppressed charmed meson Nonleptonic decays"; *Phys.Rev.D* **65**(2002)054007  
 [۷] C.Weichiang and Z.Luo and J.Rosner; "Two body cabibbo suppressed charmed meson decays"; *Phys.Rev.D* **67** (2003)014001  
 [۸] Particle Data Group; *Phys.lett.B* **592**, (2004) 1

$$Br_{c \rightarrow su\bar{d}} = \frac{\Gamma_{c \rightarrow su\bar{d}}}{\Gamma(\text{Semileptonic}) + \Gamma(\text{Hadronic})} \quad (23)$$

مقادیر مربوط به واپاشیهای کوآرکی از طریق روشهایی از جمله Factorization قابل تعمیم به مدل مزون مربوطه می باشد.

$$Br(D \rightarrow X) = Br(c \rightarrow q) + O\left(\frac{1}{m_c^2}\right) \quad (24)$$

هر یک از مدهای واپاشی مزون  $D$  براساس واپاشیهای پایه ای کوآرک  $c$  قابل توجیه است [۶ و ۷]. نسبتهای شاخه ای واپاشیهای کوآرک  $c$  با استفاده از تئوری ذکر شده و همچنین مقادیر تجربی مربوط به مزون  $D$  با استفاده از [۸] براساس مدل کوآرکی آنها در جدول (۲) جای داده شده است.

جدول ۲: نسبتهای شاخه ای مدهای مختلف کوآرک  $C$  و مزون  $D$

فرایند	Br [th] Br [ex]
$c \rightarrow su\bar{d}$	۰/۳۲۵
$D^0 \rightarrow K^- \rho^+$	۰/۱۴۹
$c \rightarrow du\bar{s}$	۰/۰۰۳۱۳
$D_s^+ \rightarrow \pi^+ \rho^0$	<۰/۰۰۲۸
$c \rightarrow du\bar{d}$	۰/۰۷۹
$D^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$	۰/۰۰۳۲
$c \rightarrow su\bar{s}$	۰/۰۱۶
$D_s^+ \rightarrow \phi k^+$	<۰/۰۰۰۵
$c \rightarrow se\nu_e$	۰/۱۲۰
$D^0 \rightarrow k^- e^+ \nu_e$	۰/۰۳۶
$c \rightarrow de\nu$	۰/۰۱۶
$D^0 \rightarrow \pi^- e^+ \nu_e$	۰/۰۰۵

### نتیجه گیری

از مقایسه مقادیر مختلف واپاشیها پیداست که مد اصلی واپاشیهای کوآرک  $c$  به کوآرک  $s$  می باشد و سهم  $c \rightarrow su\bar{d}$  بیشتر از  $c \rightarrow du\bar{s}$  است. بدین ترتیب سهم واپاشی مزون  $D$  به