Correcciones radiativas a $B^{\pm} \to \rho^0 \ell^{\pm} \bar{\nu}_\ell$

Sergio Tostado

Departamento de Física
CINVESTAV-IPN

May 21, 2015

XXIX Reunión Anual de la
División de Partículas y Campos de la SMF

Asesor: Dr. Gabriel López Castro

1 Introducción

2 Decaimiento del B
- Correcciones radiativas
- Bremsstrahlung

3 Contribuciones de largas distancias a decaimientos raros (presentación de Adolfo Guevara)

4 Conclusiones

Introducción (Motivación)

- En el ME las mezclas e interacciones débiles entre los quarks tipo up y down se encuentran codificadas en una matriz unitaria: CKM [1].
- Determinaciones precisas de sus entradas son importantes para verificar su unitariedad y obtener hints de Nueva Física.
- El estudio de las correcciones radiativas (RC) ha sido necesario para una estimación precisa de los parámetros de la teoría, verificar su renormalización, etc., exhibiendo así su naturaleza cuántica [2].
- Las fábricas de B's medirán mejor algunos decaimientos exclusivos y
- decaimientos raros del B en búsqueda de desviaciones del ME.

---

[1] M. Kobayashi and T. Maskawa, PTP **49**, 652 (1973).

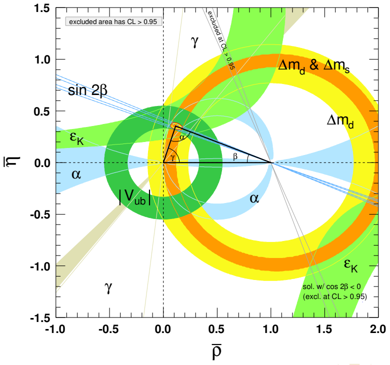
[2] G. 't Hooft and M. Veltman, NPB **153**, 365 (1979), A. Sirlin, Phys. Rev. **164**, 1767 (1967).

$|V_{ub}|$

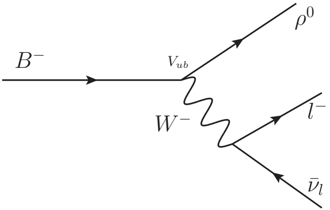
3σ

- $|V_{ub}| = (4.41 \pm 0.15^{+0.15}_{-0.17}) \times 10^{-3}$ (Inclusivos)[a]
- $|V_{ub}| = (3.28 \pm 0.29) \times 10^{-3}$ (5 modos exclusivos para $b \to u\ell\nu$)
- $|V_{ub}| = (4.22 \pm 0.42) \times 10^{-3}$ (de $B \to \tau\bar{\nu}$, no incluido)

[a] K.A. Olive et al. (PDG), Chin. Phys. C, **38**, 090001 (2014)



El decaimiento $B^{\pm} \to \rho^0 l^{\pm} \bar{\nu}_\ell$



$$\mathcal{M} = -i \frac{G_F V_{ub}}{\sqrt{2}} H_\nu L^\nu, \qquad (1)$$

donde $L^\nu = \bar{u}_\ell \gamma^\nu (1-\gamma_5) v_\nu$ y $q = p_B - k = p_\ell + p_\nu$.

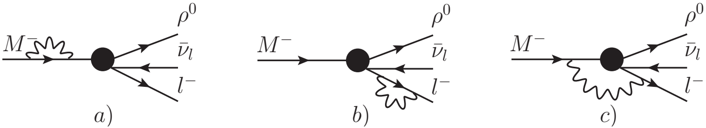
$$H^\nu = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\frac{-2iV}{m_B + m_V} \epsilon^{\nu\alpha\beta\gamma} \varphi_\alpha k_\beta p_{B\gamma} + (m_B + m_V) A_1 \varphi^\nu - \frac{A_2}{m_B + m_V} q \cdot \varphi (p_B^\nu + k^\nu) + \frac{2 m_V A}{q^2} q \cdot \varphi q^\nu \right). \qquad (2)$$

$$|Vub| \sim (3.69 \pm 0.35) \times 10^{-3}$$

[3] Belle II medirá con una presición de entre 3 y 10 %, lo cual requiere la inclusión de las correcciones radiativas. No calculadas en $B \to V \ell \nu$.

[3] A. Sibidanov *et al.* [Belle], PRD **88**, 032005 (2013).

Correcciones Radiativas $\mathcal{O}(\alpha)$



$$\mathcal{M}^{wfr} = \mathcal{M}^0 \left(\frac{1}{2}\delta Z_2 + \frac{1}{2}\delta Z_m \right)$$

Independiente del modelo

- $$\delta Z_2 = \frac{\alpha}{4\pi} \left(2 - \mathrm{B}_0[m^2, 0, m^2] + 4m^2 \mathrm{B}_0'[p^2, \lambda^2, m^2]\right)$$
- $$\delta Z_m = \frac{\alpha}{4\pi} \left(2\mathrm{B}_0^M[M^2, 0, M^2] + 4M^2 \mathrm{B}_0'^M[P^2, \lambda^2, M^2]\right)$$

Vértice

$$\mathcal{M}^{MIV} = \frac{\alpha}{4\pi}\mathcal{M}^0 \left\{2\mathrm{B}_0[m^2,0,m^2] + \mathrm{B}_0^M[M^2,0,M^2] - 2\mathrm{B}_0^{IM}[(P-p)^2,m^2,M^2]\right.$$
$$\left. + 4p\cdot P\mathrm{C}_0[m^2,M^2,(P-p)^2,m^2,\lambda^2,M^2] - 2M^2\mathrm{C}_1[m^2,M^2,(P-p)^2,m^2,\lambda^2,M^2]\right\}$$
$$-\frac{\alpha}{4\pi}\frac{G_F}{\sqrt{2}}mW^\mu(P_\rho,P)\mathrm{C}_2[m^2,M^2,(P-p)^2,m^2,\lambda^2,M^2]\bar{u}_\ell \not{P}\gamma_\mu(1-\gamma_5)v_{\bar{\nu}_\ell} \ , \tag{3}$$

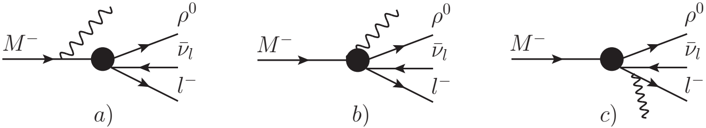
$$\mathrm{B}_0[m^2,0,m^2] = 2 - \ln\left(\frac{m^2}{\Lambda^2}\right) \tag{4}$$

$$\mathrm{B}_0^{IM}[(P-p)^2,m^2,M^2] = -\int_0^1 \mathrm{d}x \ln\left(\frac{-x(1-x)(P-p)^2 + xM^2 + (1-x)m^2}{\Lambda^2}\right) \ , \tag{5}$$

$$\mathrm{C}_0[m^2,M^2,(P-p)^2,m^2,\lambda^2,M^2] = -\frac{1}{4ME\beta}\ln\left(\frac{1+\beta}{1-\beta}\right)\ln\left(\frac{(P-p)^2}{\lambda^2}\right) - \mathrm{F}_2(P,p) \ , \tag{6}$$

$$\begin{aligned} \mathrm{F}_2(P,p) &= \tfrac{1}{2}\int_0^1 \mathrm{d}y\ \tfrac{1}{\chi(y)}\ln\left(\tfrac{\chi(y)}{(P-p)^2}\right) \\ \chi(y) &= (P-p)^2y^2 + 2(p\cdot P - p^2)y + p^2 \ . \end{aligned} \tag{7}$$

Bremsstrahlung

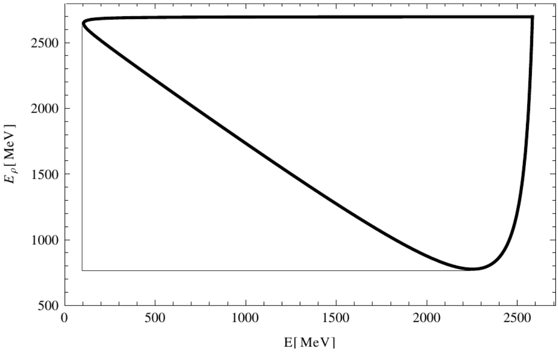


$$\mathrm{d}\Gamma^{\gamma} = \mathrm{d}\Gamma^{0} \frac{e^2}{(2\pi)^3} \int \frac{\mathrm{d}^3 k}{2\omega_k} \left(\frac{2P \cdot p}{(P \cdot k)(p \cdot k)} - \frac{M^2}{(P \cdot k)^2} - \frac{m^2}{(p \cdot k)^2} \right) + \frac{\alpha}{4\pi} \int \mathrm{d}\Phi_4 \left[\sum_{m,n} C_{m,n} I_{m,n} \right] \quad (8)$$

Divergencia IR

$$\mathrm{d}\Gamma^{\gamma} = \mathrm{d}\Gamma^{0} \left[\frac{\alpha}{\pi} I_0(E_\ell, E_V, \lambda^2) \right] + \frac{\alpha}{4\pi} \int \mathrm{d}\Phi_4 \left[\sum_{m,n} C_{m,n} I_{m,n} \right], \quad (9)$$

Espacio fase III y IV



LD RC

$$\Gamma = \Gamma^0 \left[1 + \delta_{LD}(\Lambda^2)\right] \ , \tag{10}$$

con

$$\delta_{LD}(\Lambda^2) = \frac{\alpha}{\pi} I_0(\lambda^2) + \delta_V(\lambda^2, \Lambda^2) + \delta_{C \cdot I} \tag{11}$$

SD

$$\delta_{SD} = \frac{2\alpha}{\pi} \ln\left(\frac{m_z}{\Lambda}\right) \ . \tag{12}$$

Todos los procesos semileptónicos mediados por un W incluyen una corrección de cortas distancias de este tipo[a].

[a] W. J. Marciano and A. Sirlin, PRL. **71**, 3629 (1993), NPB **196**, 83 (1982).

Resultados

$\ell = \mu$

$\delta_{C \cdot I} = (5.0 \pm 0.2) \times 10^{-5}$

Λ	δ_{SD}	δ_{LD}	δ_{RC}
$m_\rho/2$	0.0254	-0.0216	0.0037
$m_p/2$	0.0245	-0.0209	0.0035
m_ρ	0.0221	-0.0192	0.0030
m_p	0.0213	-0.0185	0.0027
$2m_\rho$	0.0189	-0.0167	0.0022
$2m_p$	0.0180	-0.0161	0.0019

$$\delta_{RC} = (2.9 \pm 0.8) \times 10^{-3}$$

$$|V_{ub}| = (3.64 \pm 0.35) \times 10^{-3}$$

$\ell = e$

$\delta_{C \cdot I} = (9.7 \pm 0.3) \times 10^{-5}$

Λ	δ_{SD}	δ_{LD}	δ_{RC}
$m_\rho/2$	0.0254	-0.0525	-0.0271
$m_p/2$	0.0245	-0.0519	-0.0273
m_ρ	0.0221	-0.0501	-0.0279
m_p	0.0213	-0.0494	-0.0281
$2m_\rho$	0.0189	-0.0477	-0.0287
$2m_p$	0.0180	-0.0470	-0.0289

$$\delta_{RC} = (-2.80 \pm 0.09) \times 10^{-2}$$

$$|V_{ub}| = (3.74 \pm 0.35) \times 10^{-3}$$

Se pueden verificar las contribuciones LD mediante

$$\mathcal{T}_{LD} = \frac{1 + \delta^{\mu}_{LD}}{1 + \delta^{e}_{LD}} = 1.0325 \pm 0.0002$$

(independiente de Λ) y comparar con su valor extraido del experimento

$$\mathcal{T}^{exp}_{LD} = \frac{\Gamma_{B_{\mu 3}}}{\Gamma_{B_{e3}}} \frac{I^{e}_{(0)}}{I^{\mu}_{(0)}} = 1.002 \pm 0.098$$

Conclusiones

- Se determinaron las correcciones electromagnéticas de $\mathcal{O}(\alpha)$, independientes del modelo, para el decaimiento $B^{\pm} \to \rho^0 \ell^{\pm} \bar{\nu}_{\ell}$.
- Se encontró que las correcciones de LD son sensibles a las diferencias en el espacio fase, duplicando su valor al pasar de $\ell = \mu$ a $\ell = e$.
- Mediciones más precisas del Br y bajas incertidumbres en los factores de forma permitirían determinar $|Vub|$ hasta $\mathcal{O}(10^{-5})$.
- Una determinación experimental de $\mathcal{T}_{LD}$ permitiría verificar las contribuciones de LD.