Momentos dipolares débiles del τ.

Marco Antonio Arroyo Ureña.

Seminario del cuerpo académico de partículas, campos y relatividad general.

11 de febrero de 2015

CONTENIDO.

1. Introducción.
2. Motivación.
3. Momento dipolar magnético débil del τ.
4. Conclusiones y perspectivas.

INTRODUCCIÓN.

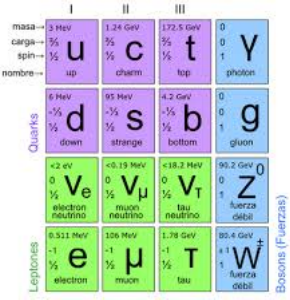

Figura : Partículas del modelo estándar.

INTRODUCCIÓN.

Evidence for Anomalous Lepton Production in e^+-e^- Annihilation*

M. L. Perl, G. S. Abrams, A. M. Boyarski, M. Breidenbach, D. D. Briggs, F. Bulos, W. Chinowsky,
J. T. Dakin,† G. J. Feldman, C. E. Friedberg, D. Fryberger, G. Goldhaber, G. Hanson,
F. B. Heile, B. Jean-Marie, J. A. Kadyk, R. R. Larsen, A. M. Litke, D. Lüke,‡
B. A. Lulu, V. Lüth, D. Lyon, C. C. Morehouse, J. M. Paterson,
F. M. Pierre,§ T. P. Pun, P. A. Rapidis, B. Richter,
B. Sadoulet, R. F. Schwitters, W. Tanenbaum,
G. H. Trilling, F. Vannucci,‖ J. S. Whitaker,
F. C. Winkelmann, and J. E. Wiss

Lawrence Berkeley Laboratory and Department of Physics, University of California,
Berkeley, California 94720
and Stanford Linear Accelerator Center, Stanford University, Stanford, California 94305
(Received 18 August 1975)

We have found events of the form $e^+ + e^- \to e^\pm + \mu^\mp$ + missing energy, in which no other charged particles or photons are detected. Most of these events are detected at or above a center-of-mass energy of 4 GeV. The missing-energy and missing-momentum spectra require that at least two additional particles be produced in each event. We have no conventional explanation for these events.

We have found 64 events of the form

$$e^+ + e^- \to e^\pm + \mu^\mp \geq 2 \text{ undetected particles} \qquad (1)$$

Figura : Descubrimiento del τ

INTRODUCCIÓN.

Masa:

- $m_\tau = 1776.82 \pm 0.16\, MeV$.

Tiempo de vida media:

- $T_\tau = (290.3 \pm 0.5) \times 10^{-15} s$

Momento dipolar magnético:

- $-0.052 < a_\tau < 0.013$

Momento dipolar eléctrico:

- $Re(d_\tau) = -0.220\, a\, 0.45 \times 10^{-16} ecm$
- $Im(d_\tau) = -0.250\, a\, 0.0080 \times 10^{-16} ecm$

Momento dipolar magnético débil:

- $Re(a_\tau^W) < 1.1 \times 10^{-3},\ Im(a_\tau^W) < 2.7 \times 10^{-3}$

Momento dipolar eléctrico débil:

- $Re(d_\tau^W) < 0.50 \times 10^{-17} ecm,\ Im(d_\tau^W) < 1.1 \times 10^{-17} ecm$

Fuente: *PDG*.

MOTIVACIÓN.

¿Por qué estudiar al leptón τ?

- Hay un alto nivel de comprensión en mecanismos de producción en colisionadores.
  - $e^+e^- \rightarrow \tau^+\tau^- \rightarrow e^{\pm}\mu^{\mp}\overline{\nu}_e\nu_\mu(SPEAR - SLAC)$,
  - $ep \rightarrow eXW^{\pm} \rightarrow e\tau^{\pm}\nu_\tau X \quad (HERA - DESY)$,
  - Se pueden producir $\sim 10^9$ pares de $\tau\overline{\tau}$ anuales en el experimento: $e^+e^- \rightarrow \tau^+\tau^-(BELLE)$.
- El τ es el único leptón conocido lo suficientemente masivo para decaer en hadrónes.

MOTIVACIÓN.

- $\tau^- \to \Lambda h^- \nu_\tau$(violan número leptónico y bariónico)
- $\tau^- \to l^+ h^- h^-$ (violan número y sabor leptónico) $(h = \pi,\ K,\ l = e,\ \mu)$
- $\tau^- \to l^- l^+ l^-,\ \tau^- \to l^- \gamma$ (violan sabor leptónico) $(l = e,\ \mu)$
  - Violación de sabor leptónico$\to$Decaimientos del τ es uno de los objetivos más importantes en el Proyecto Super KEKB.
    - $BR(\tau^- \to l^- \gamma) \sim 10^{-50}$
    - $\left.\begin{array}{c} SUSY \\ LHM \\ ED \end{array}\right\}$Predicen decaimientos con violación de sabor leptónico $O(10^{-9} - 10^{-7})$
- $d_\tau,\ d_\tau^W$ (Violación de CP).

PANORAMA GENERAL DEL (MSBHL).

- EL MODELO MÁS SIMPLE CON UN BOSÓN DE HIGGS LIGERO DA UNA RESPUESTA SATISFACTORIA AL PROBLEMA DE LA JERARQUÍA.
- Introduce neutrinos masivos.
- Rica fenomenología.

$$\begin{aligned} Simetr\acute{\imath}a\, global &\rightarrow [SU(3)\times U(1)]^2 \stackrel{TeV}{\rightarrow} [SU(2)\times U(1)]^2 \\ Simetr\acute{\imath}a\, de\, norma &\rightarrow SU(3)\times U(1) \stackrel{TeV}{\rightarrow} SU(2)\times U(1) \end{aligned}$$

$$\Phi_1 = e^{i\Theta\frac{f_2}{f_1}}\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ f_1 \end{pmatrix},\ \Phi_2 = e^{-i\Theta\frac{f_1}{f_2}}\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ f_2 \end{pmatrix}, \tag{1}$$

donde

$$\Theta = \frac{1}{f}\left[\frac{\eta}{\sqrt{2}} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & h \\ 0 & 0 & \\ & h^{\dagger} & 0 \end{pmatrix}\right] \tag{2}$$

$$h \rightarrow doblete\ del\ ME, \qquad \eta \rightarrow campo\ escalar$$

- Dobletes de $SU(2)$ son promovidos a tripletes de $SU(3)$
  - $L^T = (\nu_L, l_L, N_L), l_R, N_R, \quad Q^T = (u_L, d_L, U), u_R, d_R, U_R$

Términos de masa:

$$\mathcal{L} = |D_\mu \Phi_i|^2, \tag{3}$$

$$\begin{aligned}
\mathcal{L}_\Phi \supset & \frac{g^2 v^2}{4}\left[1 - \frac{v^2}{6f^2}\left(\frac{c_\beta^4}{s_\beta^2} + \frac{s_\beta^4}{c_\beta^2}\right)\right] W_\mu^+ W^{-\mu} \\
+ & \frac{g^2 f^2}{2}\left[1 - \frac{v^2}{2f^2} + \frac{v^4}{12f^4}\left(\frac{c_\beta^4}{s_\beta^2} + \frac{s_\beta^4}{c_\beta^2}\right)\right] X_\mu^+ X^{-\mu}
\end{aligned}$$

$$M_W = \frac{gv}{2}\left(1 - \frac{v^2}{12f^2}\left(\frac{c_\beta^4}{s_\beta^2} + \frac{s_\beta^4}{c_\beta^2}\right)\right) \tag{4}$$

$$M_X = \frac{gf}{\sqrt{2}}\left(1 - \frac{v^2}{4f^2} + \frac{v^4}{24f^4}\left(\frac{c_\beta^4}{s_\beta^2} + \frac{s_\beta^4}{c_\beta^2}\right)\right) \tag{5}$$

Reglas de Feynman.

$$\mathcal{L}_X = -\frac{g}{\sqrt{2}}[iX_\mu^- \bar{l}_i \gamma^\mu (V_{im}^l N_m + \delta_\nu \nu_i) + h.c]$$

$$\mathcal{L}_W = -\frac{g}{\sqrt{2}} W_\mu^+ \left[\left(1 - \frac{\delta_\nu^2}{2} \right) \overline{\nu}_i \gamma^\nu l_i - \delta_\nu V_{mi}^{l\dagger} \overline{N}_m \gamma^\mu l_i + h.c \right] \quad (6)$$

Panorama general del MSBHL.

- Partículas del modelo estándar.
- Nuevas partículas

Partícula	Masa	Espín
$X^{\pm}$	$\frac{gf}{\sqrt{2}}\left(1-\frac{v^2}{4f^2}\right)$	1
Y^0	$\frac{gf}{\sqrt{2}}$	1
Z'	$\frac{\sqrt{2}gf}{\sqrt{3-t_W^2}}$	1
N_m	$\lambda_{Nm} sen\beta\, f$	1/2
U_i	$f\sqrt{(\lambda_1^{ui})^2 cos^2\beta + (\lambda_2^{ui})^2 sen^2\beta}$	1/2

$$tan\beta = f2/f1,\ f = \sqrt{f_1^2 + f_2^2}$$

Cálculo del momento dipolar magnético débil del τ.

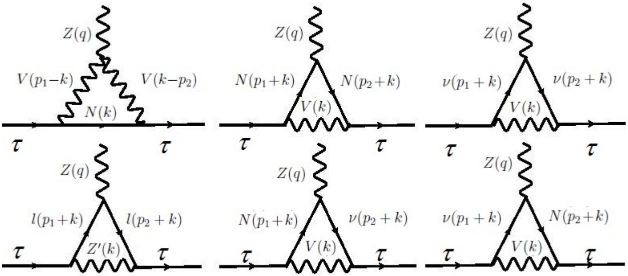

Figura : Diagramas de Feynman que contribuyen a a_τ^W.

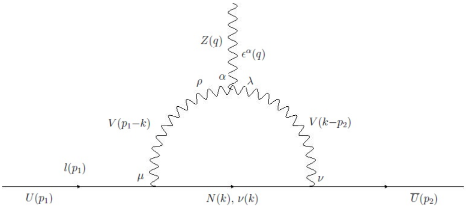

Figura : Diagrama de Feynman.

La amplitud está dada por:

$$
\begin{aligned}
\mathcal{M}_1 \quad &= \quad -\frac{e^2 g_L^2 J^V}{4}\epsilon^{\alpha}(q)\int \frac{d^D k}{(2\pi)^D}\overline{U}(p_2)\left[(1-\gamma^5)\gamma^{\nu}\right]\left[\frac{(\gamma\cdot k + m_N)}{k^2 - m_N^2}\right]\left[(1-\gamma^5)\gamma^{\mu}\right]U(p_1) \\
&\times \quad \left[\frac{1}{(p_1-k)^2 - m_V^2}\left(g_{\mu\rho} - \frac{(p_1-k)_{\mu}(p_1-k)_{\rho}}{m_V^2}\right)\right] \\
&\times \quad \left[g^{\lambda\rho}(2k-p_2-p_1)^{\alpha} + g^{\alpha\lambda}(2p_2-p_1-k)^{\rho} + g^{\rho\alpha}(2p_1-k-p_2)^{\lambda}\right] \\
&\times \quad \left[\frac{1}{(k-p_2)^2 - m_V^2}\left(g_{\lambda\nu} - \frac{(k-p_2)_{\lambda}(k-p_2)_{\nu}}{m_V^2}\right)\right]
\end{aligned}
$$

Amplitud 1

Mediante el método de parametrización de Feynman:

$$\mathcal{M}_1 = -\frac{e^2 g_L^2 J^V}{4\,(2\pi)^D}\epsilon^\alpha(q)\int_0^1 dx \int_0^{1-x} dy\, I^\alpha(p_1,\, p_2) \tag{7}$$

donde

$$\begin{aligned}
I^\alpha &= \int d^D k\, \overline{U}(p_2)\left[(1-\gamma^5)\gamma^\nu\right]\left[\frac{(\gamma\cdot k + m_N)}{((k-l)^2 - M^2)^3}\right]\left[(1-\gamma^5)\gamma^\mu\right] U(p_1) \\
&\times \left[\left(g_{\mu\rho} - \frac{(p_1-k)_\mu (p_1-k)_\rho}{m_V^2}\right)\left(g_{\lambda\nu} - \frac{(k-p_2)_\lambda (k-p_2)_\nu}{m_V^2}\right)\right] \\
&\times \left[g^{\lambda\rho}\,(2k - p_2 - p_1)^\alpha + g^{\alpha\lambda}\,(2p_2 - p_1 - k)^\rho + g^{\rho\alpha}\,(2p_1 - k - p_2)^\lambda\right]
\end{aligned} \tag{8}$$

donde

$$\begin{aligned}
M^2 &= x^2 m_\tau^2 + y^2 m_\tau^2 - x m_\tau^2 + 2xy m_\tau^2 - y m_\tau^2 + x m_V^2 + y m_V^2 - xy m_Z^2 - (x+y-1) m_N^2 \\
l &= (x p_1 + y p_2)
\end{aligned}$$

Amplitud 1

Se puede observar que el integrando de I^α se puede escribir de la forma:

$$I^\alpha = \int d^D k \, R^\alpha(p_1,\, p_2,\, k) \tag{9}$$

$$R^\alpha(p_1,\, p_2,\, k) = \overline{U}(p_2)\left[A\gamma^\alpha + Bp_1^\alpha + C\gamma^\alpha\gamma^5 + Dp_1^\alpha\gamma^5\right]U(p_1) \tag{10}$$

y utilizando la identidad de Gordon:

$$2m\overline{U}(p_2)\gamma^\alpha U(p_1) = \overline{U}(p_2)\left[(p_1^\alpha + p_2^\alpha) + i\sigma^{\alpha\beta}q_\beta\right]U(p_1) \tag{11}$$

$$\Gamma_Z^\alpha(q^2) = i\sigma^{\alpha\beta}q_\beta F_2(q^2) + i\sigma^{\alpha\beta}q_\beta\gamma^5 F_3(q^2) \tag{12}$$

de donde

$$F_2(m_Z^2) = -B/2 \tag{13}$$

$$a_f^W = -2m_f F_2(m_Z^2),\; d_f^W = -eF_3(m_Z^2) \tag{14}$$

Por lo cual:

$$(a_\tau^W)^{VVN} = -\frac{e^2 g_L^2 J^V m_\tau^2}{64\pi^4} \int_0^1 dx \int_0^{1-x} dy\, F(x,\, y,\, f) \qquad (15)$$

donde:

$$\begin{aligned}
F(x,\, y,\, f) &= -\frac{1}{m_V^4}(((-2(x+y)(2x+2y+1)m_V^2 - 2(x+y)(m_\tau(x+y-1)^2(x+y) \\
&- m_Z^2(xy(x+y-2)+1))m_V^2 + m_Z^2(x+y-1)(m_\tau^2(x+y-1)^2(x+y) - m_Z^2 xy(x+y-2)) \\
&+ M^2(m_Z^2(3x^2+6(y-1)x+3(y-2)y+2) - 2m_V^2(x+y)(3x+3y-4)))M^2 \\
&- 4m_V^2 + 4m_V^2x^2 - 2m_Z^2x^2 + 4m_V^2y^2 - 2m_Z^2y^2 - 4m_V^2x + 3m_Z^2x - 4m_V^2y + 3m_Z^2y \\
&+ 8m_V^2xy - 4m_Z^2xy - (4(x+y-1)(2x+2y-1)m_V^2 - 4m_Z^2 - m_Z^2(x+y)(4x+4y-9)) \\
&\quad Log(M^2)
\end{aligned}$$

RESULTADO.

Finalmente:

$$a_\tau^W = (a_\tau^W)^{VVN} + (a_\tau^W)^{VNN} + (a_\tau^W)^{X\nu\nu} + (a_\tau^W)^{VN\nu} + (a_\tau^W)^{V\nu N} + (a_\tau^W)^{Z'll} \qquad (16)$$

Límites superiores *ALEPH*

$$Re(a_\tau^W) < 1.1 \times 10^{-3}, \; Im(a_\tau^W) < 2.7 \times 10^{-3}$$

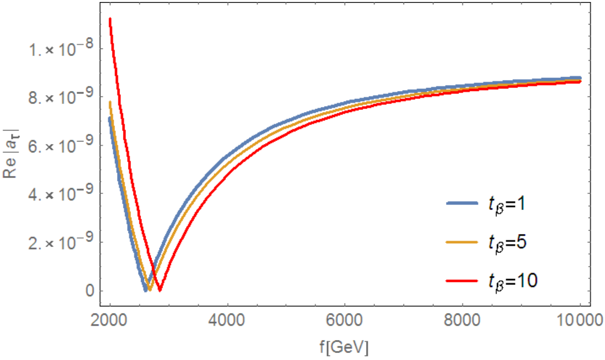

Figura : Gráfica $\mathrm{Re}|a_\tau^W|$ vs $f = \sqrt{f_1^2 + f_2^2}$.

RESULTADO.

Límites superiores *ALEPH*

$$Re(a_\tau^{\boldsymbol{W}}) < 1.1 \times 10^{-\boldsymbol{3}}, \; Im(a_\tau^{\boldsymbol{W}}) < 2.7 \times 10^{-\boldsymbol{3}}$$

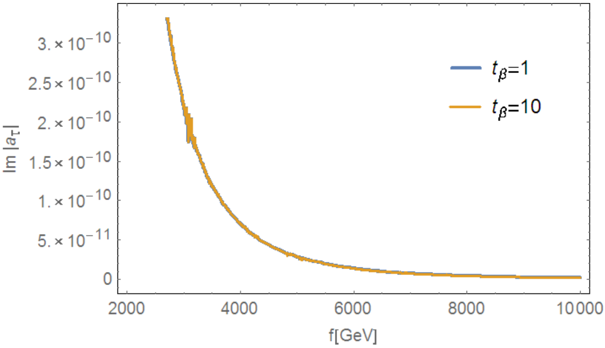

Figura : Gráfica $\mathrm{Im}|a_\tau^W|$ vs f.

Modelo	a_τ	$d_\tau[ecm]$	$Re(a_\tau^W)$	$Im(a_\tau^W)$	$Re(d_\tau^W)$	$Im(d_\tau^W)[ecm]$
LQ I, II	10^{-8}	10^{-22}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-22}	10^{-24}
LQ III	10^{-9}	–	10^{-10}	–	–	–
MSSM	10^{-6}	10^{-18}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-21}	–
THDM	10^{-6}	10^{-24}	10^{-10}	–	10^{-22}	–
UP	10^{-6}	10^{-21}	10^{-9}	10^{-9}	10^{-24}	10^{-24}

Modelo	$Re(a_\tau^W)$	$Im(a_\tau^W)$
MSBHL	10^{-9}	10^{-10}

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS.

- Se dió información general del leptón τ y la motivación de estudio.
- Panorama general del MSBHL.
- Se estudiaron los momentos dipolares débiles del leptón τ en el marco MSBHL, hallando:
    - $d_\tau^W = 0$
    - $Re|a_\tau^W| \sim 10^{-9}$
    - $Im|a_\tau^W| \sim 10^{-10}$
- Cálculo de los momentos electromagnéticos.

¡GRACIAS!