



El sabó de la Física

Adolfo Guevara

A 60 años del natalicio de Gabriel López Castro

7 de abril de 2022



Overview

1. El trabajo hecho
2. Trabajo actual
3. Visión del futuro del campo

Génesis

- *“Entonces Gabriel firmó como tutor del estudiante. Y vio que el estudiante era bueno y Gabriel lo separó de teorías BSM.”*
- Propuesta: Energía de retroceso en $p^+\nu \rightarrow p^+\nu$
- 3^{er} semestre de maestría: vendí mi alma.

Mis primeros pasos



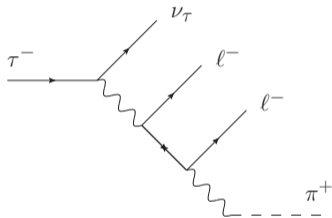
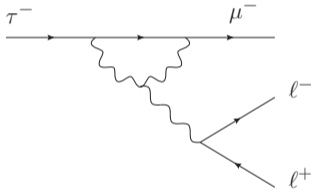
- Poco después, sugirió trabajar en $\tau \rightarrow \nu_\tau \pi l^+ l^-$.

- Terminamos la tesis de maestría,¹ basada en la parte IB.

¹Después de aprender a programar en Mathematica, FeynCalc, Fortran y L^AT_EX.

¿Y eso qué?

- Esta desintegración es fondo de procesos LFV, LNV.
- E.g. $\tau^- \rightarrow \mu^- e^+ e^-$ y $\tau^- \rightarrow \nu_\tau \pi^+ e^- e^-$, respectivamente.



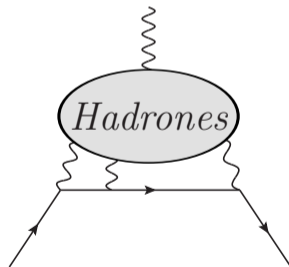
- Las interacciones hadrónicas se calcularon usando χ PT extendida para incluir resonancias, llamada $R\chi T$.
- Gracias a este trabajo, conocí a Pablo.

Segundo proyecto

- Ese año, Gabriel y Pablo me sugirieron estudiar vértices tipo

$$\pi\gamma^*\gamma^*$$

- con la intención de estudiar la dispersión luz-por-luz del $g_\mu - 2$ usando $R\chi T$.



- Logramos publicar ese trabajo al siguiente año.

Infancia científica



- Entonces Gabriel tuvo la idea de crear un *Journal club*.
- Ahí discutimos ideas sobre la reciente anomalía R_K en LHCb.

Tercer proyecto

- Decidimos calcular el posible ruido hadrónico de

$$R_K = \frac{\mathcal{B}(B^\pm \rightarrow K^\pm \mu^+ \mu^-)}{\mathcal{B}(B^\pm \rightarrow K^\pm e^+ e^-)}.$$

- Hicimos uso de $R_\chi T$ extendiendo la teoría para incluir b .
- Se construye un triplete que² transforme linealmente bajo³ $G = SU(3)_L \otimes SU(3)_R$

$$B := \begin{pmatrix} B^- \\ B_d^0 \\ B_s^0 \end{pmatrix}, \quad B \xrightarrow{G} h(\varphi)B$$

²Con la misma estructura de sabor que U , i.e., $(\bar{u}b, \bar{d}b, \bar{s}b)^T$

³ $SU(3)_L \otimes SU(3)_R = SU(3)_V \otimes SU(3)_A$

Incluyendo b

- $h \in SU(3)_V$, en la transformación $B \xrightarrow{G} h(\varphi)B$.

- Así,

$$U(\varphi) = u_R^\dagger(\varphi)u_L(\varphi) \rightarrow \tilde{U}(\varphi) = \tilde{u}_R^\dagger(\varphi)\tilde{u}_L(\varphi),$$

- donde se escoge


$$\tilde{u}_R^\dagger(\varphi) = \begin{pmatrix} u(\varphi) & \frac{i}{\sqrt{2}f_D}u(\varphi)B \\ \frac{i}{\sqrt{2}f_D}B^\dagger & f_D/f \end{pmatrix}, \quad \tilde{u}_L(\varphi) = \begin{pmatrix} u(\varphi) & \frac{i}{\sqrt{2}f_D}B \\ \frac{i}{\sqrt{2}f_D}B^\dagger u(\varphi) & f_D/f \end{pmatrix}.$$

- Siendo $u = \exp \frac{i}{\sqrt{2}f} \lambda_k \varphi_k$


Fracaso y éxito

- No logramos explicar la anomalía. 😞

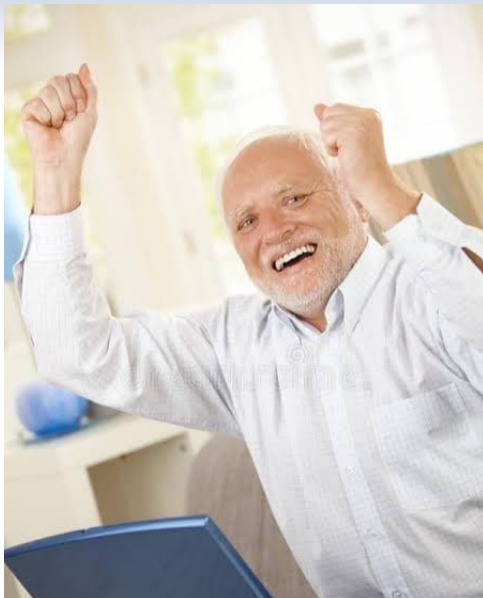
Fracaso y éxito

- No logramos explicar la anomalía. 😞
- Pero encontramos una asimetría de CP importante. 

Fracaso y éxito

- No logramos explicar la anomalía. 😞
- Pero encontramos una asimetría de CP importante. 
- Y mejor aún...

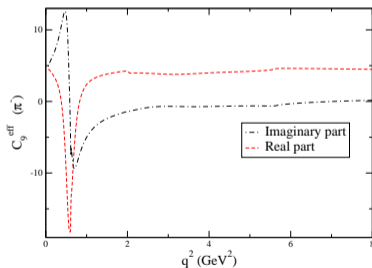
¡Nos publicaron el paper!



Asimetría de CP

- Nuestra contribución cambia

$$\xi_P(q^2)C_9 \rightarrow \xi_P(q^2)C_9 + \kappa_P m_B^2 \left[\frac{F_P(q^2) - 1}{q^2} \right].$$



- $\Gamma_\rho(q^2)$ describe $\Im[F_P(q^2)] \Rightarrow$ será responsable de la fase fuerte necesaria para A_{CP} .

$$A_{CP}(\pi)$$

- Dicha asimetría se define

$$A_{CP}(\pi) = \frac{\Gamma(B^+ \rightarrow \pi^+ \ell^+ \ell^-) - \Gamma(B^- \rightarrow \pi^- \ell^+ \ell^-)}{\Gamma(B^+ \rightarrow \pi^+ \ell^+ \ell^-) + \Gamma(B^- \rightarrow \pi^- \ell^+ \ell^-)}.$$

- Así obtuvimos

$(q_{\text{mín}}^2, q_{\text{máx}}^2)$	A_{CP}
(1,8) GeV ²	7.8 ± 2.9
(1,6) GeV ²	9.2 ± 1.7
(2,6) GeV ²	7.7 ± 0.5
(0.05,8) GeV ²	16.1 ± 1.9

- ¡Buenos resultados!

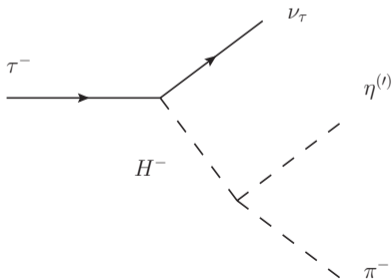
Adolescencia



- Posteriormente, Gabriel me sugirió estudiar $\tau \rightarrow \nu_\tau \pi \eta \gamma$ como fondo de $\tau \rightarrow \nu_\tau \pi \eta$.

Cuarto proyecto

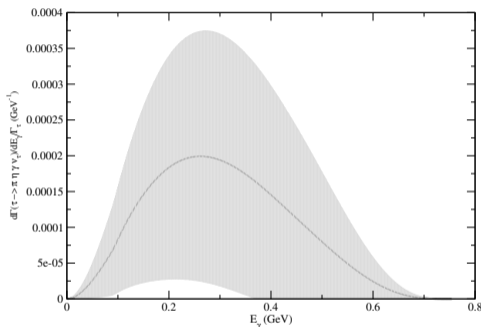
- La desintegración $\tau \rightarrow \nu_\tau \pi \eta$ viola isospín ($\Rightarrow G$ -parity también).
- Dado que $I_3 \gamma = \pm \gamma$, suponemos que α_{EM} compite con \mathcal{G} .
- Cualquier medida por encima de las estimaciones ⁴ implica BSM.



⁴Existen varias y todas apuntan a $BR \lesssim 10^{-5}$ dentro del SM.

Fracciones de desintegración

- Encontramos el espectro de E_γ .



- Y las siguientes fracciones de desintegración:

SCC bkg	BR (no cuts)	BR ($E_\gamma^{\text{cut}} = 100 \text{ MeV}$)	BR SCC signal	Bkg rejection
$\tau^- \rightarrow \pi^- \eta \gamma \nu_\tau$	$(3.0 \pm 0.6) \cdot 10^{-5}$	$(1.2 \pm 0.6) \cdot 10^{-6}$	$\sim 1.7 \cdot 10^{-5}$	Yes
$\tau^- \rightarrow \pi^- \eta' \gamma \nu_\tau$	$(2.2 \pm 0.4) \cdot 10^{-6}$	$(2 \pm 1) \cdot 10^{-7}$	$[10^{-7}, 10^{-6}]$	No

Vida adulta: Crecimiento exponencial



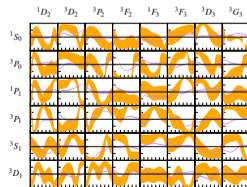
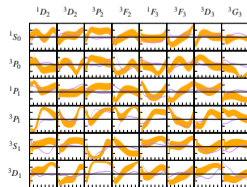
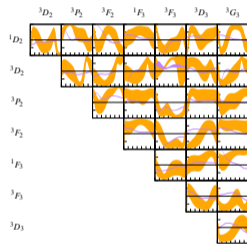
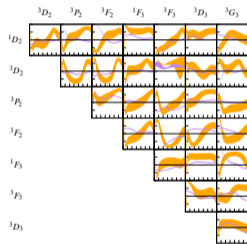
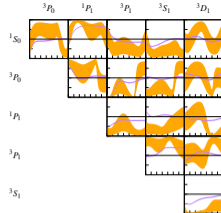
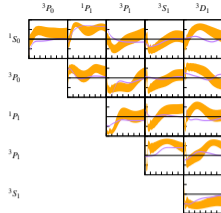
- Lo que nos lleva al trabajo actual...

Next slide please!

Trabajo actual:

- Dispersión $N - N$ (No relativista)
 - Correlaciones compatibles con 0 de diferentes ondas parciales
- Teorías tipo technicolor⁵ (¡Perdón, Gabriel!)
- Inclusión de rompimiento explícito de la simetría quiral (masas de Goldstones)

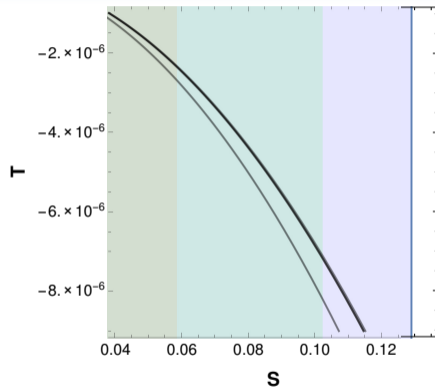
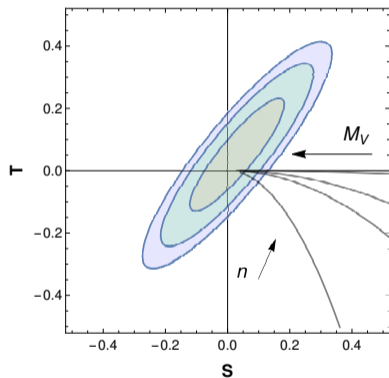
⁵Llamadas Higgs Effective Theory ó Electroweak Effective Theory



Technicolor

- Se agranda el grupo electrodébil a $SU(2) \otimes SU(2)_R$.
- El SSB + representación no lineal de Goldstones \Rightarrow teoría similar a χ PT para EW.
- $SM \subset \mathcal{L}_2^{EWET}$.
- Por lo tanto, contribuciones de operadores $\mathcal{O}(p^4)$ o resonancias implican BSM.

S y T en función de M_V y n



- Con $n = M_A^2/M_V^2$, encontrando que $M_V \gtrsim 3$ TeV.

Rompimiento explícito de la simetría quiral en $R\chi T$

- Hicimos un reanálisis de
 - HLbL del $g_\mu - 2$ y
 - $\tau \rightarrow \nu_\tau \pi \ell^+ \ell^-$,
- considerando $m_q \neq 0$, para $q = u, d, s$.
- ¿Cómo se hace esto? Considerando corrientes escalares externas, χ .
- $\chi = 2B(s + ip)$, con $s = \text{diag}(m_u, m_d, m_s)$.
- Con lo que $\chi = \text{diag}(m_\pi^2, m_\pi^2, 2m_K^2 - m_\pi^2) + \mathcal{O}(F^2)$.

HVP

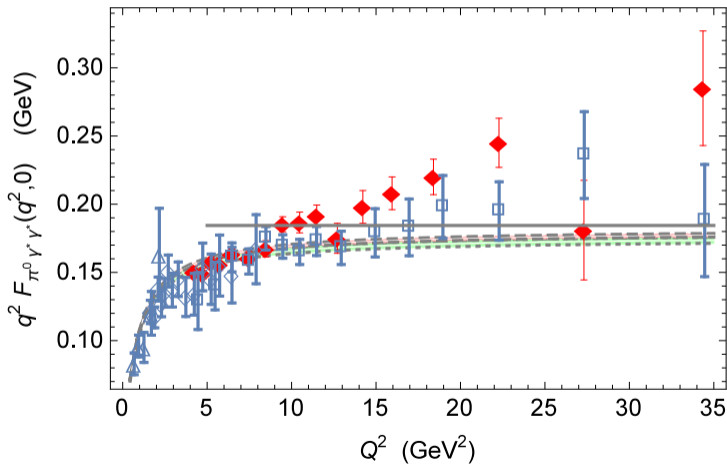
- Por congruencia, se deben incluir resonancias P .
- Con lo que encontramos que

$$C_7^{W*} = C_7^W + \frac{\kappa_5^P d_m}{M_P^2}, \quad c_3^* = c_3 + \frac{\kappa_3^{PV} d_m M_V}{M_P^2}, \quad d_2^* = d_2 + \frac{\kappa^{VVP} d_m}{M_P^2}, \text{ etc.}$$

- Es decir, las contribuciones por m_q se pueden 'esconder' en otros parámetros.

Factor de forma de transición

- Encontramos buen ajuste de datos.



Desintegración $\tau \rightarrow \nu_\tau \pi \ell^+ \ell^-$

- Aquí, no todas las contribuciones m_P^2 no pueden ser escondidas en otras

$$F_A(W^2, k^2) = \frac{F_V^{ud} F_V^{ud} - 2G_V - m_\pi^2 \frac{4\sqrt{2}d_m}{M_{\pi'}^2} (\lambda_1^{PV} + 2\lambda_2^{PV})}{2f (M_\rho^2 - k^2)}$$

$$A_2 = \frac{2}{f} \left(G_V + \frac{2\sqrt{2}m_\pi^2 d_m}{M_{\pi'}^2} \lambda_1^{PV} + \frac{\sqrt{2}F_A}{M_{a_1}^2 - W^2} W^2 (\lambda' + \lambda'') \right) \frac{F_V^{ud}}{M_\rho^2 - k^2}$$

- Las contribuciones de m_P son necesarias para compatibilidad con $\langle VVP \rangle$ y $\langle VAP \rangle$.

Visión del futuro del campo

Viendo el futuro como Niels Bohr

- “Prediction is very difficult, especially if it’s about the future”.



Mi visión de mi futuro.

- Continuar estudiando pruebas de precisión del Modelo Estándar.
- Seguir estudiando las contribuciones hadrónicas al $g_\mu - 2$.
- Seguir estudiando las implicaciones de EWET.
- ★Estudiar violación de C y CP en desintegraciones $\psi' \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$