

# $0\nu\beta\beta$ : Contribución de QCD a los Elementos de Matriz Nucleares

Henry Monge-Camacho

College of William & Mary  
Lawrence Berkeley National Laboratory

May 16, 2018

# Elemento de Matriz Nuclear para $0\nu\beta\beta$

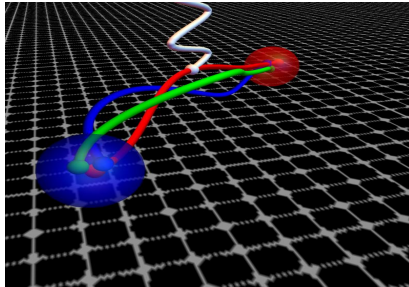
Vida media:

$$[\tau_{1/2}^{0\nu}]^{-1} = G_{0\nu} |M_{0\nu}|^2 |f(m_i, U_{ei})|^2,$$

Elemento de matriz:

$$M_{0\nu} = g_A^2 M^{(0\nu)}, \quad M^{(0\nu)} \equiv M_{GT}^{(0\nu)} - \left(\frac{g_V}{g_A}\right)^2 M_F^{(0\nu)} + M_T^{(0\nu)}.$$

Carga axial  $g_A$ :



La carga axial es renormalizada en ambientes nucleares.

Posibles razones:

- Omisión de grados de libertad no nucleónicos

- Limitación del espacio donde se realiza el cálculo

Algunos escenarios:

$$gA = 1.269 \quad gA = 1 \quad gA = 1.269A^{-0.18}$$

Contribución neutrinos pesados vs livianos:

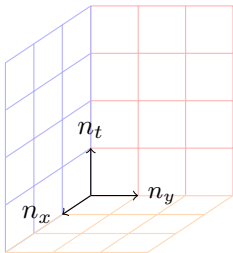
$$\frac{1}{m_{\nu}^{\text{pes}}} \quad \text{vs} \quad m_{\nu}^{\text{liv}}$$

Con neutrinos pesados, componente nuclear y de QCD son separables

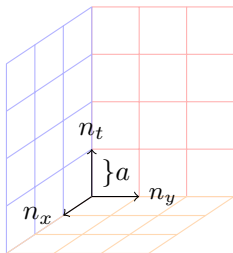
En ambientes nucleares, *QCD* está en el regimen no perturbativo.

Interacciones de largo alcance son la mayor contribución

Propuesta de LQCD : espacio continuo 4D  $\rightarrow$  red hipercúbica

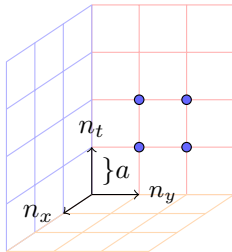


Propuesta de LQCD : espacio continuo 4D  $\rightarrow$  red hipercúbica



La red actúa como un regulador UV

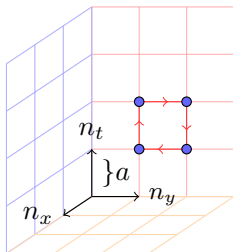
Propuesta de LQCD : espacio continuo 4D  $\rightarrow$  red hipercúbica



La red actúa como un regulador UV

Los Campos de los Quarks se definen en los vértices de la red

Propuesta de LQCD : espacio continuo 4D  $\rightarrow$  red hipercúbica



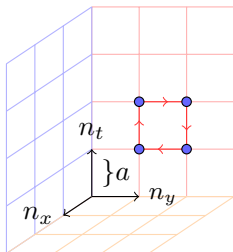
La red actúa como un regulador UV

Los Campos de los Quarks se definen en los vértices de la red

Los campos de los Gluones conectan los vértices de la red



Propuesta de LQCD : espacio continuo 4D  $\rightarrow$  red hipercúbica



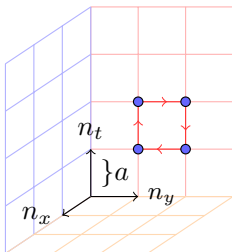
La red actúa como un regulador UV

Los Campos de los Quarks se definen en los vértices de la red

Los campos de los Gluones conectan los vértices de la red

El volumen es finito

Propuesta de LQCD : espacio continuo 4D  $\rightarrow$  red hipercúbica



La red actúa como un regulador UV

Los Campos de los Quarks se definen en los vértices de la red

Los campos de los Gluones conectan los vértices de la red

El volumen is finito

El formalismo a utilizar es la versión discretizada de la integral de trayectoria

# Carga axial a partir de LQCD

arXiv.org > hep-lat > arXiv:1704.01114

Search or Ask

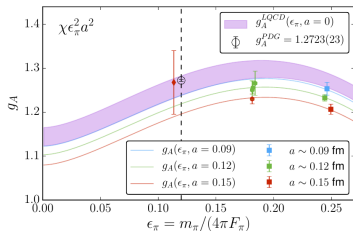
Help | Advanced

High Energy Physics - Lattice

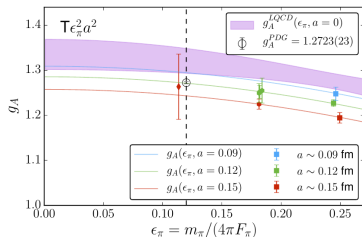
## An accurate calculation of the nucleon axial charge with lattice QCD

Evan Berkowitz, David Brantley, Chris Bouchard, Chia Cheng Chang, M. A. Clark, Nicholas Garron, Balint Joo, Thorsten Kurth, Chris Monahan, Henry Monge-Camacho, Amy Nicholson, Kostas Orginos, Enrico Rinaldi, Pavlos Vranas, Andre Walker-Loud

(Submitted on 4 Apr 2017)



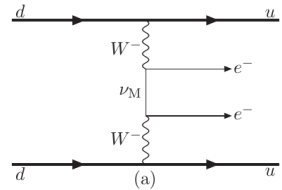
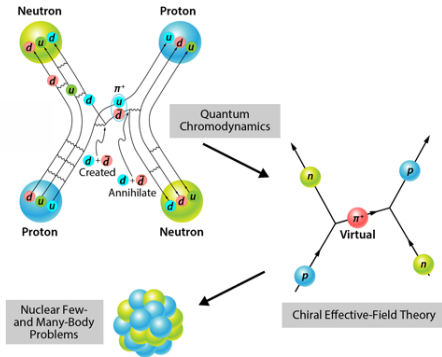
$$g_A^{Latt} = 1.278(21)(26)$$



$$g_A^{exp} = 1.2723(23)$$

# Teorías de Campo Efectivas para $0\nu\beta\beta$

## Fuerza fuerte en procesos nucleares



# Contribuciones de Neutrinos Pesados

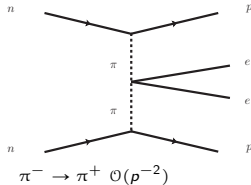
Ignorando los modos pesados, se obtienen los siguientes operadores que contribuyen<sup>1</sup>:

---

<sup>1</sup>Prézeau G., Ramsey-Musolf M. and Vogel Petr, Phys Rev D 68.034016    8/13

# Contribuciones de Neutrinos Pesados

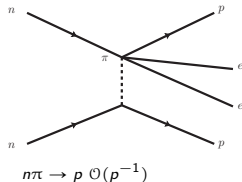
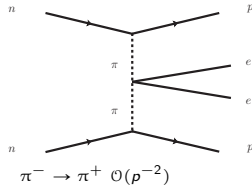
Ignorando los modos pesados, se obtienen los siguientes operadores que contribuyen<sup>1</sup>:



<sup>1</sup>Prézeau G., Ramsey-Musolf M. and Vogel Petr, Phys Rev D 68.034016

# Contribuciones de Neutrinos Pesados

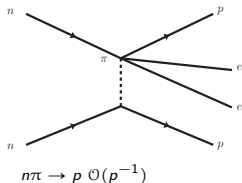
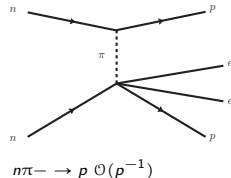
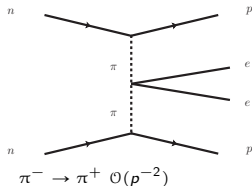
Ignorando los modos pesados, se obtienen los siguientes operadores que contribuyen<sup>1</sup>:



<sup>1</sup>Prézeau G., Ramsey-Musolf M. and Vogel Petr, Phys Rev D 68.034016

# Contribuciones de Neutrinos Pesados

Ignorando los modos pesados, se obtienen los siguientes operadores que contribuyen<sup>1</sup>:

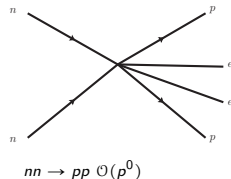
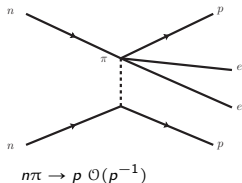
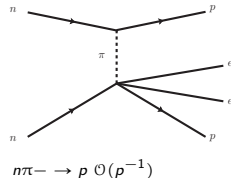
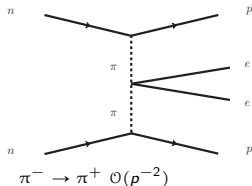


<sup>1</sup>Prézeau G., Ramsey-Musolf M. and Vogel Petr, Phys Rev D 68.034016

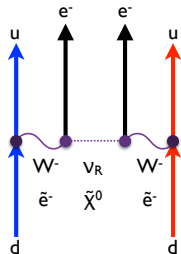


# Contribuciones de Neutrinos Pesados

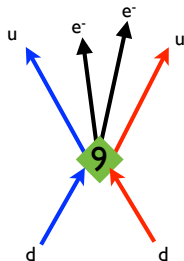
Ignorando los modos pesados, se obtienen los siguientes operadores que contribuyen<sup>1</sup>:



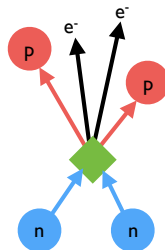
<sup>1</sup>Prézeau G., Ramsey-Musolf M. and Vogel Petr, Phys Rev D 68.034016



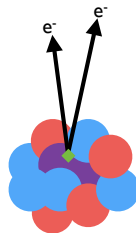
Your favorite  
BSM theory



effective 4-quark  
operators in QCD

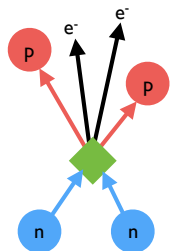
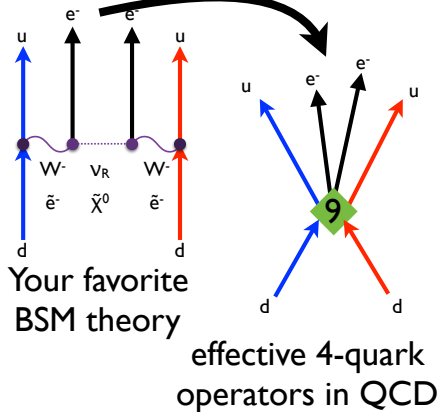


two nucleon  
amplitudes

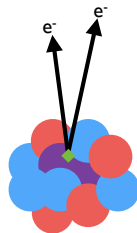


decay rates  
in big nuclei

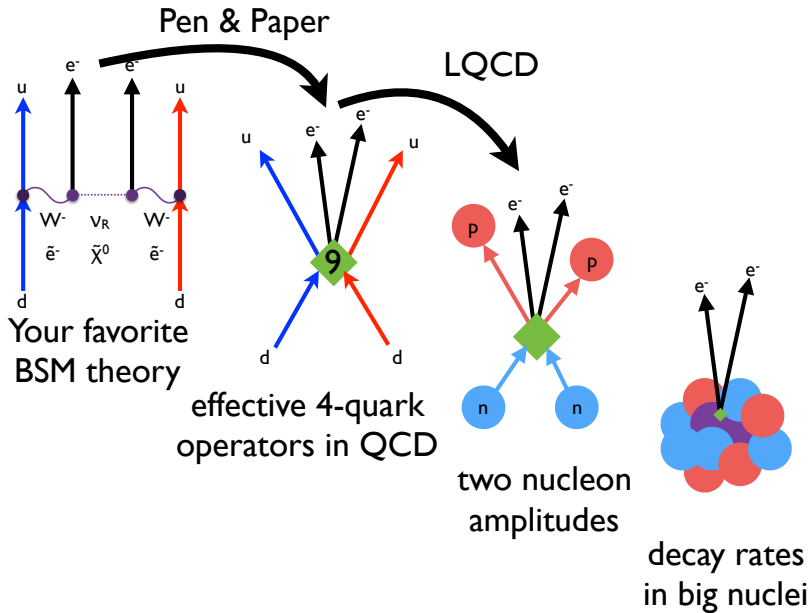
Pen & Paper

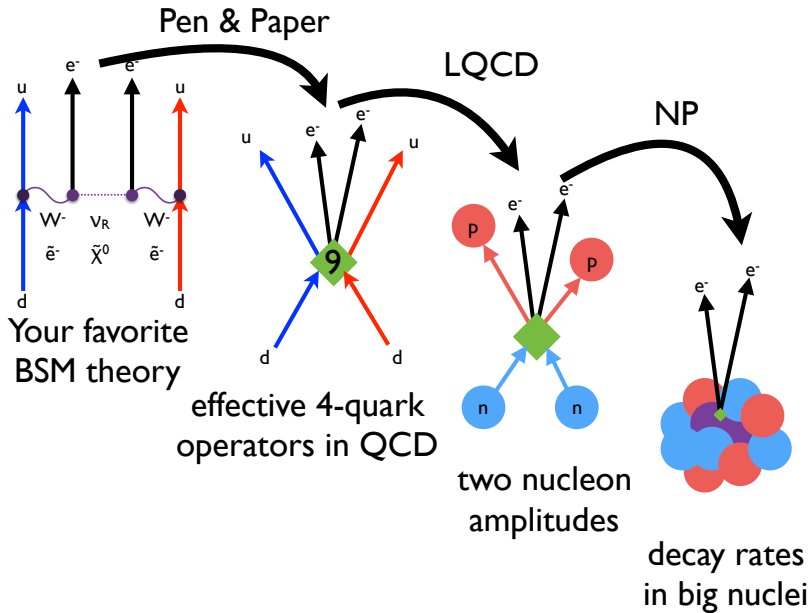


two nucleon  
amplitudes



decay rates  
in big nuclei





Los operadores que contribuyen al proceso  $\pi^- \rightarrow \pi^+$  son  $\mathcal{O}_{1+}^{++}$ ,  $\mathcal{O}_{2+}^{++}$ ,  $\mathcal{O}_{3+}^{++}$  y  $\mathcal{O}'_{1+}^{++}$ ,  $\mathcal{O}'_{2+}^{++}$  (mezclan color).

Las funciones de correlación de tres puntos correspondientes 3-point se calculan de la siguiente manera:

$$\pi^- \rightarrow \pi^+$$

Los operadores que contribuyen al proceso  $\pi^- \rightarrow \pi^+$  son  $\mathcal{O}_{1+}^{++}$ ,  $\mathcal{O}_{2+}^{++}$ ,  $\mathcal{O}_{3+}^{++}$  y  $\mathcal{O}'_{1+}^{++}$ ,  $\mathcal{O}'_{2+}^{++}$  (mezclan color).

Las funciones de correlación de tres puntos correspondientes 3-point se calculan de la siguiente manera:

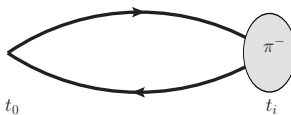


$$\bar{d}\gamma^5 u \rangle$$

$$\pi^- \rightarrow \pi^+$$

Los operadores que contribuyen al proceso  $\pi^- \rightarrow \pi^+$  son  $\mathcal{O}_{1+}^{++}$ ,  $\mathcal{O}_{2+}^{++}$ ,  $\mathcal{O}_{3+}^{++}$  y  $\mathcal{O}'_{1+}^{++}$ ,  $\mathcal{O}'_{2+}^{++}$  (mezclan color).

Las funciones de correlación de tres puntos correspondientes 3-point se calculan de la siguiente manera:



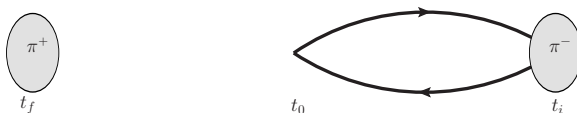
$$\bar{d}\gamma^5 u \rangle$$



$$\pi^- \rightarrow \pi^+$$

Los operadores que contribuyen al proceso  $\pi^- \rightarrow \pi^+$  son  $\mathcal{O}_{1+}^{++}$ ,  $\mathcal{O}_{2+}^{++}$ ,  $\mathcal{O}_{3+}^{++}$  y  $\mathcal{O}'_{1+}^{++}$ ,  $\mathcal{O}'_{2+}^{++}$  (mezclan color).

Las funciones de correlación de tres puntos correspondientes 3-point se calculan de la siguiente manera:

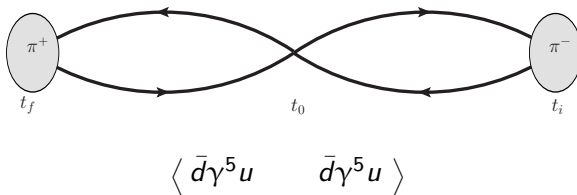


$$\langle \bar{d}\gamma^5 u \quad \bar{d}\gamma^5 u \rangle$$

$$\pi^- \rightarrow \pi^+$$

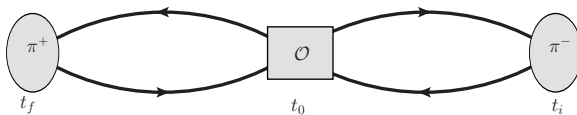
Los operadores que contribuyen al proceso  $\pi^- \rightarrow \pi^+$  son  $\mathcal{O}_{1+}^{++}$ ,  $\mathcal{O}_{2+}^{++}$ ,  $\mathcal{O}_{3+}^{++}$  y  $\mathcal{O}'_{1+}^{++}$ ,  $\mathcal{O}'_{2+}^{++}$  (mezclan color).

Las funciones de correlación de tres puntos correspondientes 3-point se calculan de la siguiente manera:



Los operadores que contribuyen al proceso  $\pi^- \rightarrow \pi^+$  son  $\mathcal{O}_{1+}^{++}$ ,  $\mathcal{O}_{2+}^{++}$ ,  $\mathcal{O}_{3+}^{++}$  y  $\mathcal{O}'_{1+}^{++}$ ,  $\mathcal{O}'_{2+}^{++}$  (mezclan color).

Las funciones de correlación de tres puntos correspondientes 3-point se calculan de la siguiente manera:

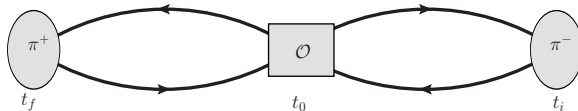


$$\langle \bar{d} \gamma^5 u \mid \bar{u} \Gamma^1 d \bar{u} \Gamma^2 d \mid \bar{d} \gamma^5 u \rangle$$

$$\pi^- \rightarrow \pi^+$$

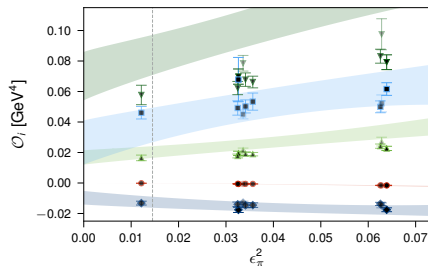
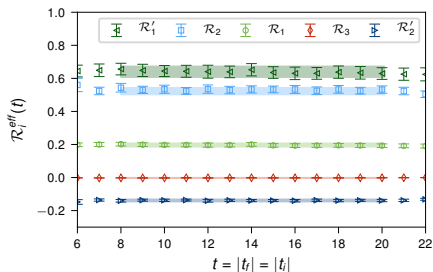
Los operadores que contribuyen al proceso  $\pi^- \rightarrow \pi^+$  son  $\mathcal{O}_{1+}^{++}$ ,  $\mathcal{O}_{2+}^{++}$ ,  $\mathcal{O}_{3+}^{++}$  y  $\mathcal{O}'_{1+}^{++}$ ,  $\mathcal{O}'_{2+}^{++}$  (mezclan color).

Las funciones de correlación de tres puntos correspondientes 3-point se calculan de la siguiente manera:



$$\begin{aligned} & \langle \bar{d} \gamma^5 u \quad | \bar{u} \Gamma^1 d \bar{u} \Gamma^2 d | \quad \bar{d} \gamma^5 u \rangle \\ & \langle \bar{d} \gamma^5 u \quad | \bar{u} \Gamma^1 d \bar{u} \Gamma^2 d | \quad \bar{d} \gamma^5 u \rangle \end{aligned}$$

# $\pi^- \rightarrow \pi^+$ Resultados



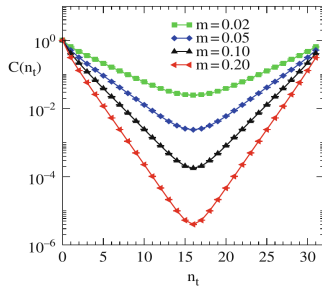
Matrix element contribution to  $nn \rightarrow pp$  potential:

$$V_i^{nn \rightarrow pp}(|\mathbf{q}|) = -O_i \frac{g_A^2}{4F_\pi^2} \tau_1^+ \tau_2^+ \frac{\sigma_1 \cdot \mathbf{q} \sigma_2 \cdot \mathbf{q}}{(|\mathbf{q}|^2 + m_\pi^2)^2}$$

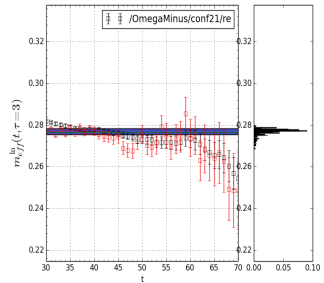
---


$$^0 \epsilon_\pi = \frac{m_\pi}{4\pi F}$$

## Simetría en $t$ para $\pi$ 's



## Problema Razón señal ruido



- LQCD, única opción para contribución  $m_v^{pes}$ .
- gA quenching debe ser considerado.
- Métodos que incluyan varios nucleones son necesarios.