

Neutrinos de Dirac o de Majorana: ¿Alternativas a las desintegraciones doble beta sin neutrinos?

Pablo Roig
Dpto. de Física del Cinvestav

Taller "Más allá del SM y astropartículas"
IF-UNAM 15&16 de Marzo de 2023

Problemas abiertos del exitoso Modelo Estándar: soluciones optimistas y pesimistas

3.- Pequeñez de la masa de los neutrinos ($10^{-7} \sim m_\nu/m_e < m_e/m_t \sim 3 \times 10^{-6}$)

Problemas abiertos del exitoso Modelo Estándar: soluciones optimistas y pesimistas

3.- Pequeñez de la masa de los neutrinos ($10^{-7} \sim m_\nu/m_e < m_e/m_t \sim 3 \times 10^{-6}$)

$\overline{\psi}_L \psi_R \phi + \overline{\psi}_R \psi_L \phi^* \xrightarrow{\text{SSB}} m(\overline{\psi}_L \psi_R + \overline{\psi}_R \psi_L) = \overline{\psi} \psi$. Si se genera m_e/m_t , ¿por qué no m_ν/m_e ?

Problemas abiertos del exitoso Modelo Estándar: soluciones optimistas y pesimistas

3.- Pequeñez de la masa de los neutrinos ($10^{-7} \sim m_\nu/m_e < m_e/m_t \sim 3 \times 10^{-6}$)

$\bar{\psi}_L \psi_R \phi + \bar{\psi}_R \psi_L \phi^* \xrightarrow{\text{SSB}} m(\bar{\psi}_L \psi_R + \bar{\psi}_R \psi_L) = \bar{\psi} \psi$. Si se genera m_e/m_t , ¿por qué no m_ν/m_e ?

Una vez se introduce ψ_R , el principio de gauge permite tener términos de masa de Majorana $m_M(\bar{\psi}_R^c \psi_R + \bar{\psi}_R \psi_R^c)$

(Salvo que la teoría UV prohíba LNV, ¿?)



Problemas abiertos del exitoso Modelo Estándar: soluciones optimistas y pesimistas

3.- Pequeñez de la masa de los neutrinos ($10^{-7} \sim m_\nu/m_e < m_e/m_t \sim 3 \times 10^{-6}$)

$\bar{\psi}_L \psi_R \phi + \bar{\psi}_R \psi_L \phi^* \xrightarrow{\text{SSB}} m(\bar{\psi}_L \psi_R + \bar{\psi}_R \psi_L) = m \bar{\psi} \psi$. Si se genera m_e/m_t , ¿por qué no m_ν/m_e ?

Una vez se introduce ψ_R , el principio de gauge permite tener términos de masa de Majorana $m_M(\bar{\psi}_R^c \psi_R + \bar{\psi}_R \psi_R^c)$



See-saw mechanism

$$m_L \sim m^2/m_M$$

$$m_H \sim m_M$$

$$m_L \sim 50 \text{ meV} \Rightarrow m_M \sim 10^{[10,15]} \text{ GeV}$$

Las desintegraciones de m_H producen leptogénesis

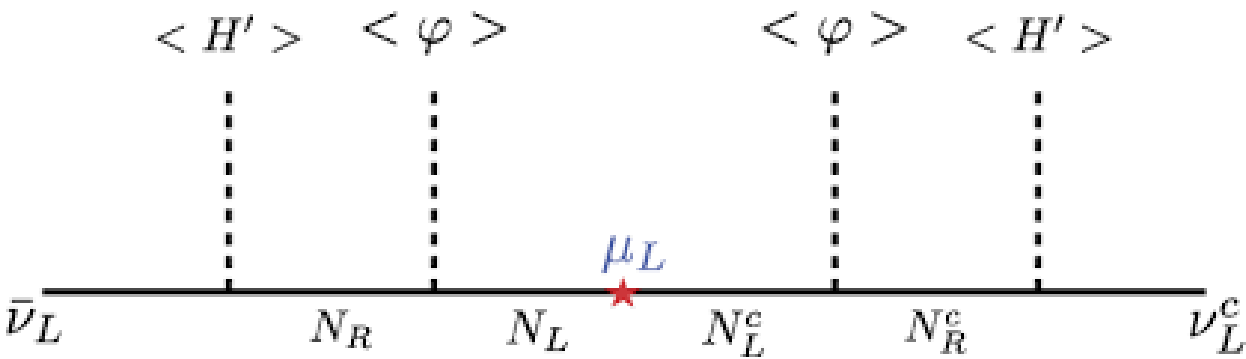


Problemas abiertos del exitoso Modelo Estándar: soluciones optimistas y pesimistas

3.- Pequeñez de la masa de los neutrinos ($10^{-7} \sim m_\nu/m_e < m_e/m_t \sim 3 \times 10^{-6}$)

$\bar{\psi}_L \psi_R \phi + \bar{\psi}_R \psi_L \phi^* \xrightarrow{\text{SSB}} m(\bar{\psi}_L \psi_R + \bar{\psi}_R \psi_L) = \bar{\psi} \psi$. Si se genera m_e/m_t , ¿por qué no m_ν/m_e ?

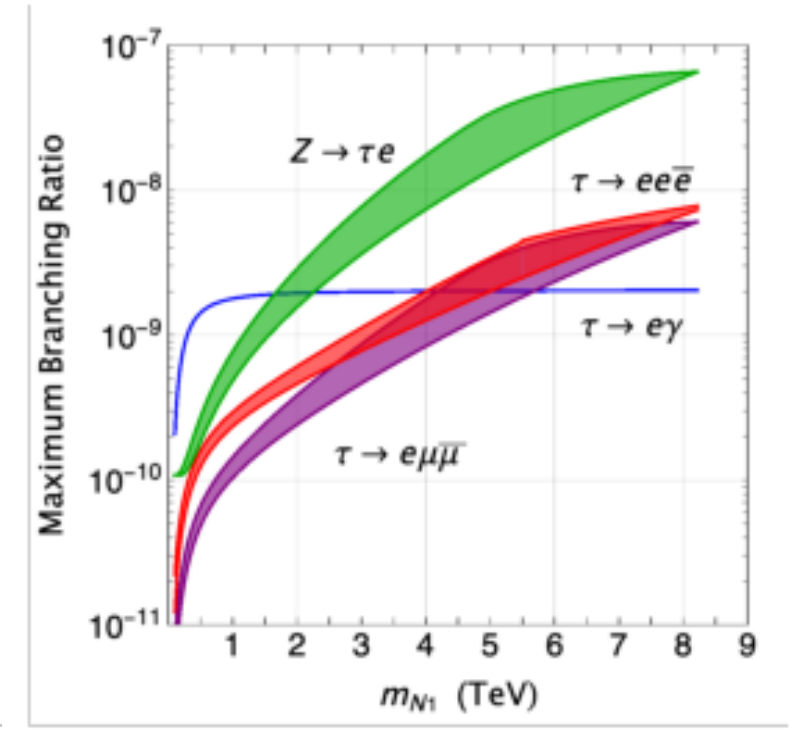
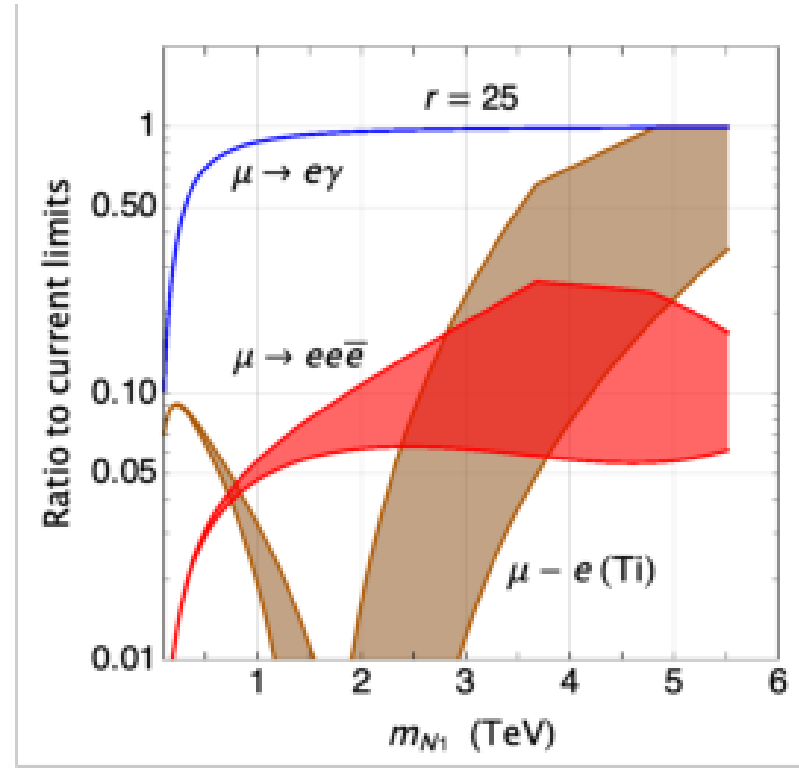
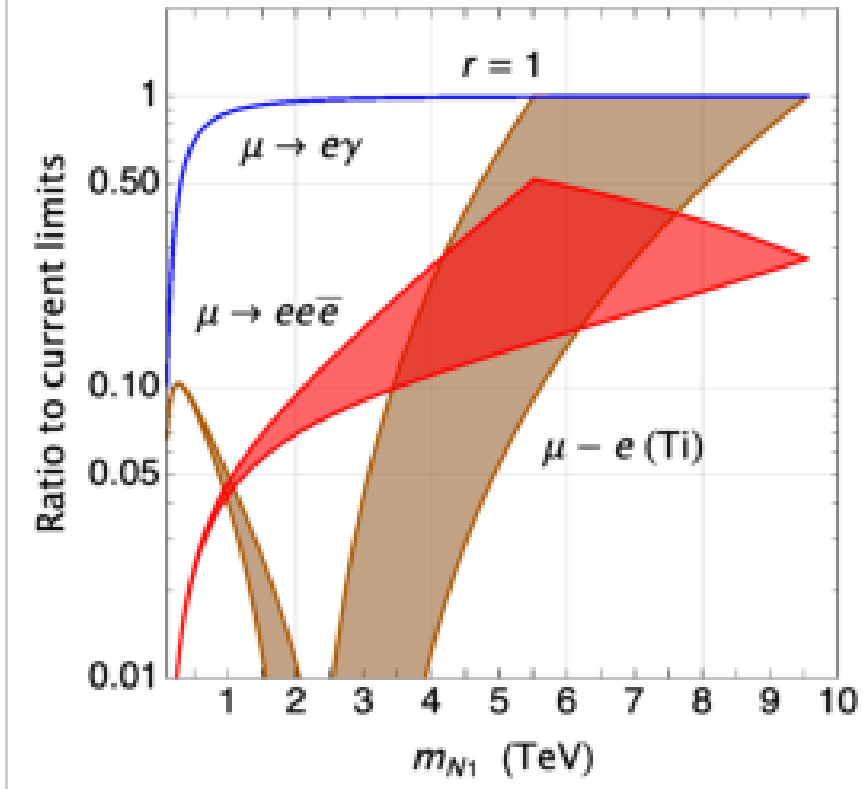
Una vez se introduce ψ_R , el principio de gauge permite tener términos de masa de Majorana $m_M(\bar{\psi}_R^c \psi_R + \bar{\psi}_R \psi_R^c)$



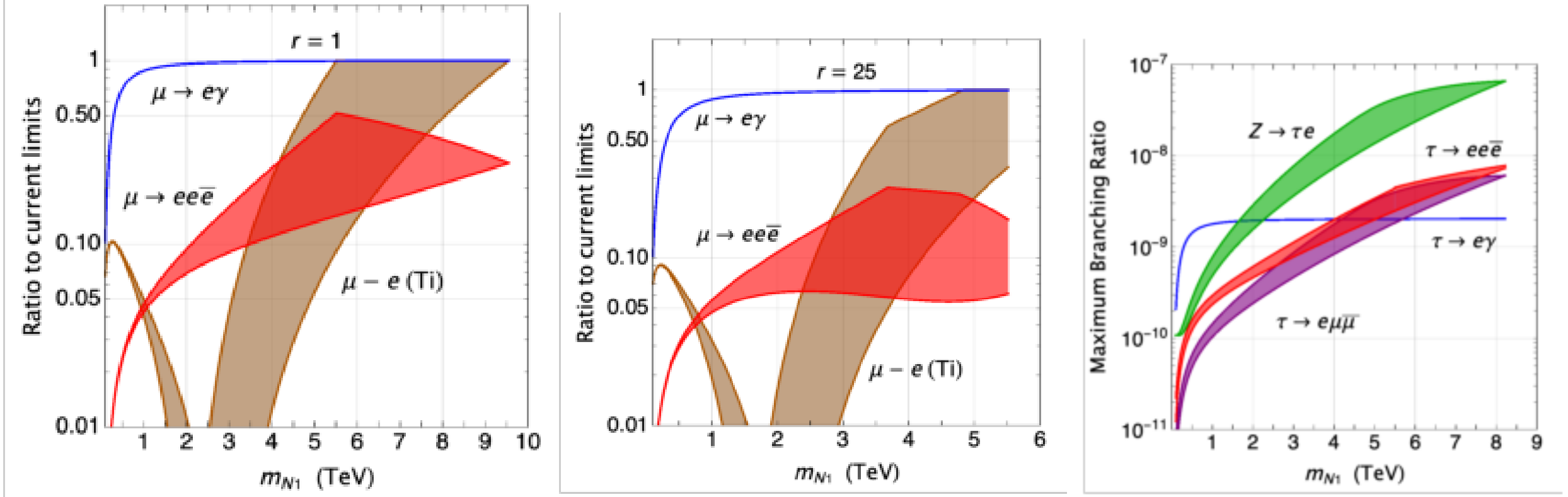
Los **low-scale seesaws** son más complicados. Hay un parámetro que regula LNV. Las masas pesadas pueden ser $O(\text{TeV})$ y tener consecuencias observables en LFV.



Dentro de un modelo dado (en este caso ISS genérico con dos N pesados), se predicen señales LFV más accesibles que las LNV (Hernández-Tomé, Illana, Masip, López-Castro, Roig '20)



Dentro de un modelo dado (en este caso ISS genérico con dos N pesados), se predicen señales LFV más accesibles que las LNV (Hernández-Tomé, Illana, Masip, López-Castro, Roig '20)



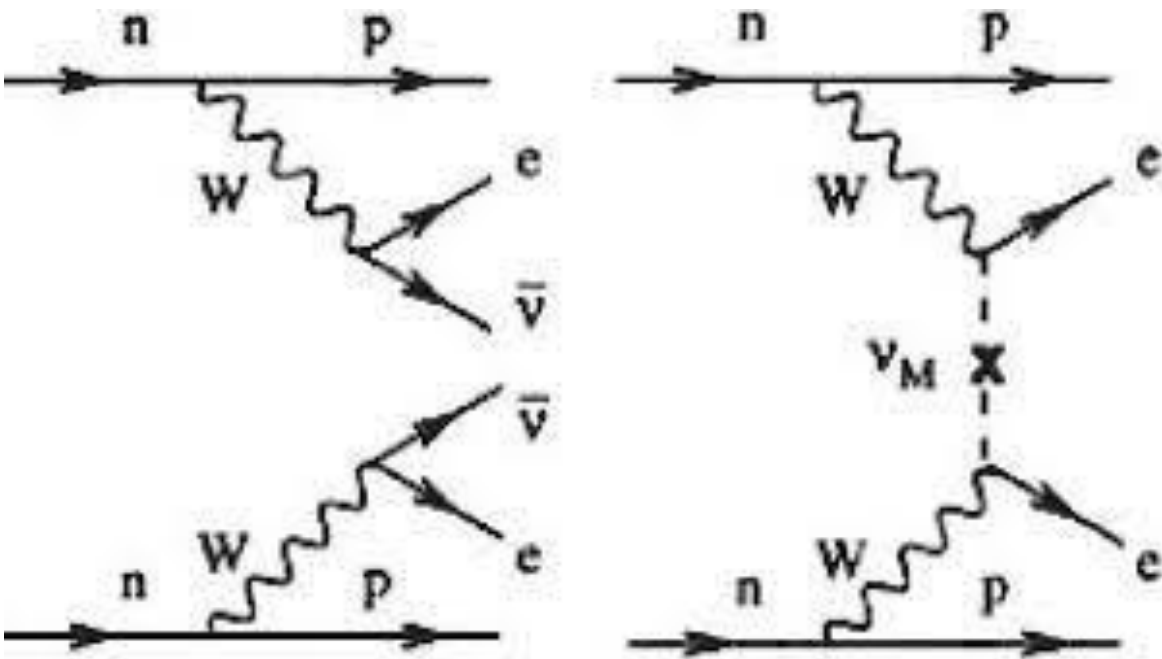
Como hay muchísimos modelos que hagan este tipo de cosas, habría que tener muchas medidas para discriminar el que corresponde a la NP observada.

Problemas abiertos del exitoso Modelo Estándar: soluciones optimistas y pesimistas

3.- Pequeñez de la masa de los neutrinos ($10^{-7} \sim m_\nu/m_e < m_e/m_t \sim 3 \times 10^{-6}$)

Si los neutrinos son de **Majorana**

Podemos tener desintegración doble β sin ν s...

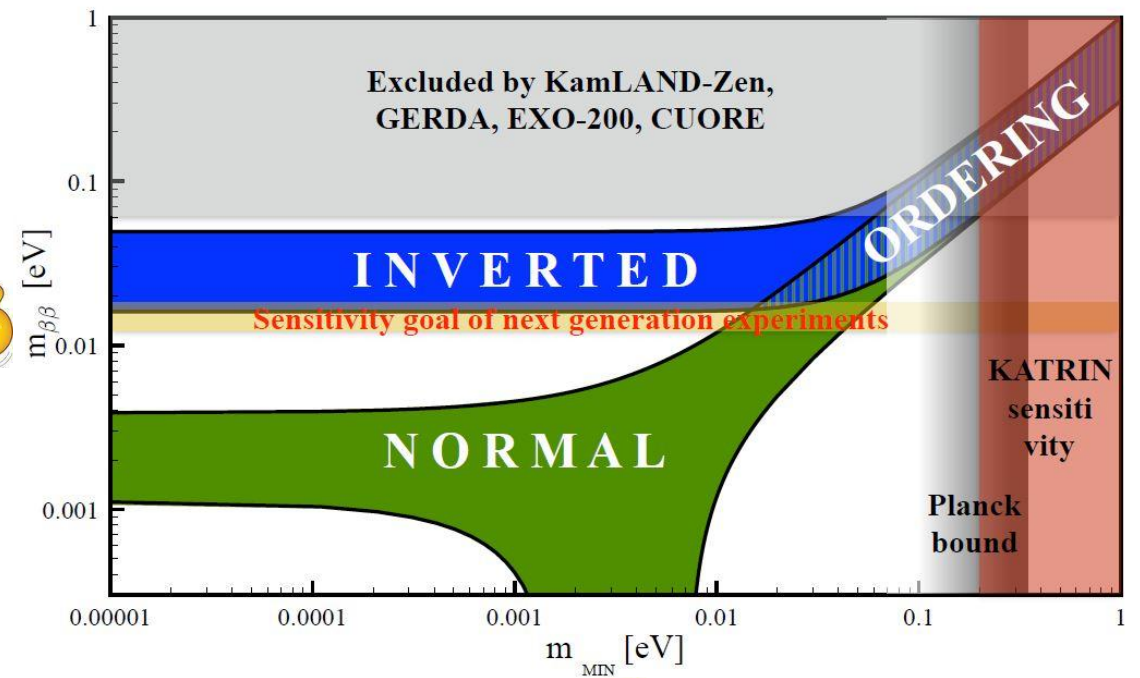
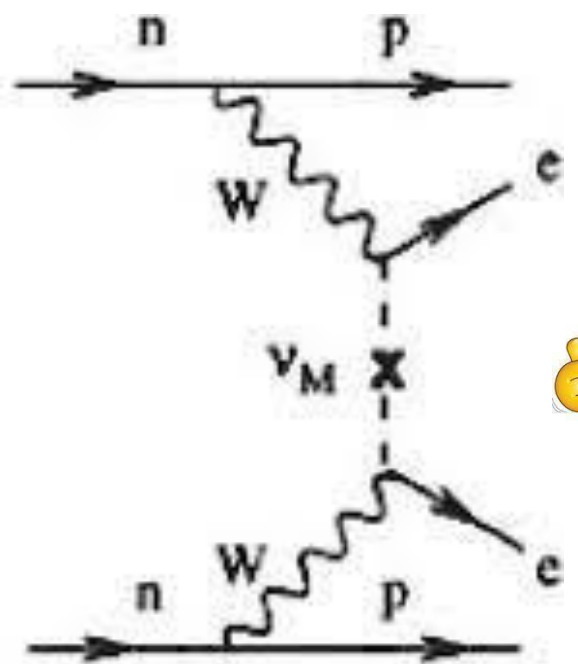
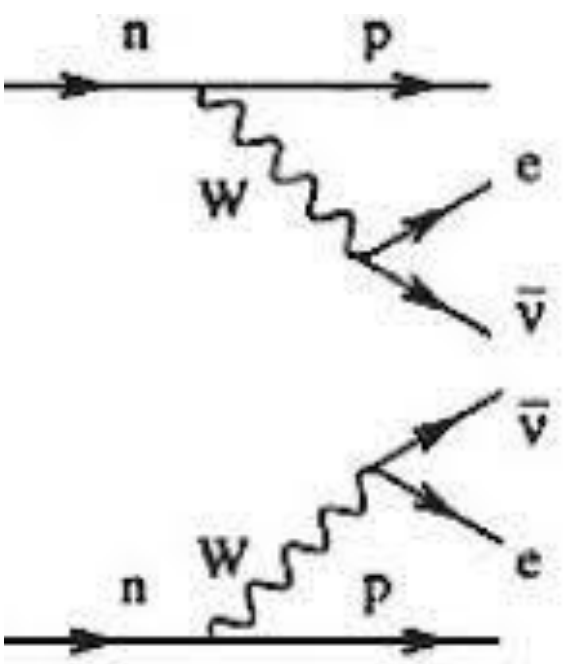


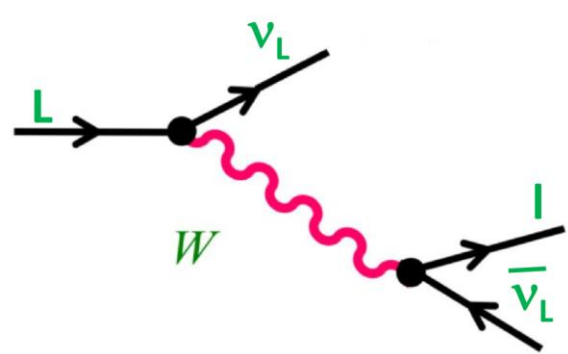
Problemas abiertos del exitoso Modelo Estándar: soluciones optimistas y pesimistas

3.- Pequeñez de la masa de los neutrinos ($10^{-7} \sim m_\nu/m_e < m_e/m_t \sim 3 \times 10^{-6}$)

Si los neutrinos son de **Majorana**
Podemos tener desintegración doble β sin ν s...

Si medimos desintegración doble β sin ν s
 \Rightarrow Los ν s son de **Majorana**
(el inverso no es cierto)





Michel parameters in presence of massive Dirac or Majorana neutrinos

(Juanma Márquez, Gabriel López Castro & P. R., JHEP11(2022)117)

$$T(l \rightarrow \nu_l l' \bar{\nu}_{l'}) \sim \frac{g^2}{M_W^2 - q^2} \xrightarrow{q^2 \ll M_W^2} \frac{g^2}{M_W^2} = 4\sqrt{2} G_F$$

**'Fundamental'
Theory**

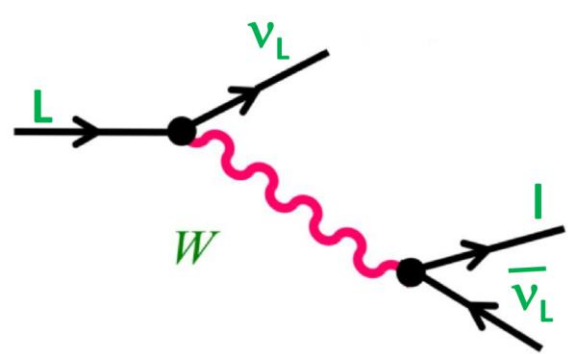
Λ

$$\mathcal{H} = 4 \frac{G_{ll'}}{\sqrt{2}} \sum_{n, \epsilon, \omega} g_{\epsilon\omega}^n \left[\bar{l}'_\epsilon \Gamma^n (\nu_{l'})_\omega \right] \left[(\bar{\nu}_l)_\lambda \Gamma_n l_\omega \right] + h.c.$$

$$\frac{d\Gamma}{dx d\cos\theta} = \frac{m_1}{4\pi^3} \omega^4 G_{ll'}^2 \sqrt{x^2 - x_0^2} \left(F(x) - \frac{\xi}{3} \mathcal{P} \sqrt{x^2 - x_0^2} \cos\theta A(x) \right) \times [1 + \hat{\zeta} \cdot \vec{\mathcal{P}}_{l'}(x, \theta)],$$

Massless case





Michel parameters in presence of massive Dirac or Majorana neutrinos

(Juanma Márquez, Gabriel López Castro & P. R., JHEP11(2022)117)

$$\frac{d\Gamma}{dx d\cos\theta} = \frac{m_1}{4\pi^3} \omega^4 G_{II'}^2 \sqrt{x^2 - x_0^2} \left(F(x) - \frac{\xi}{3} \mathcal{P} \sqrt{x^2 - x_0^2} \cos\theta A(x) \right) \times [1 + \hat{\zeta} \cdot \vec{\mathcal{P}}_{I'}(x, \theta)],$$

Massless case

'Fundamental' Theory

Λ

$$\frac{d\Gamma}{dx d\cos\theta} = \sum_{j,k} \frac{m_1}{4\pi^3} \omega^4 G_{II'}^2 \sqrt{x^2 - x_0^2} \times \left((F_{IS}(x) + F'_{IS}(x) + F''_{IS}(x)) - \mathcal{P} \cos\theta (F_{AS}(x) + F'_{AS}(x) + F''_{AS}(x)) \right) \times [1 + \hat{\zeta} \cdot \vec{\mathcal{P}}_{I'}(x, \theta)],$$

Linear in \$v\$ masses

Quadratic in \$v\$ masses

Massive case

EFT

E

$$g_{LL}^V = 0.96, g_{RR}^S = 0.25 \text{ and } g_{LR}^S = 0.5$$

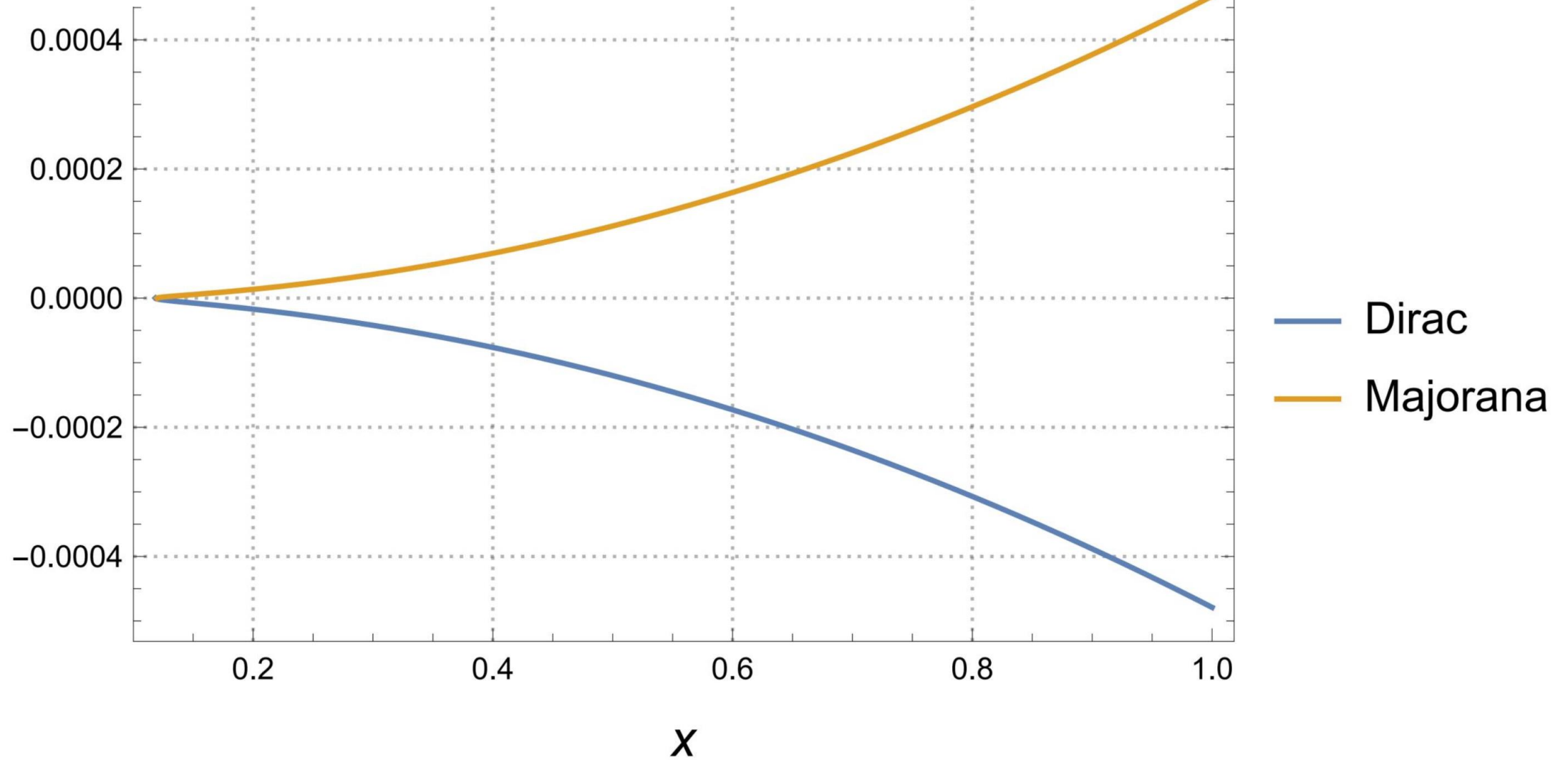


Figure 6: Neutrino mass contribution to Dirac and Majorana distributions.

Inferring the nature of active neutrinos: Dirac or Majorana

(C.S. Kim, M.V.M. Murthy & D. Sahoo, PRD105(2022)11,113006)

This paper apparently avoids the Kayser's confusion theorem 'Any property differentiating Dirac/Majorana neutrinos will be suppressed by active neutrino masses, with neutrinos coupling to the SM's $SU(2)_L$ '.

Inferring the nature of active neutrinos: Dirac or Majorana

(C.S. Kim, M.V.M. Murthy & D. Sahoo, PRD105(2022)11,113006)

This paper apparently avoids the Kayser's confusion theorem 'Any property differentiating Dirac/Majorana neutrinos will be suppressed by active neutrino masses, with neutrinos coupling to the SM's $SU(2)_L$ '.

The idea is to use 4-body decays including a pair of ν s and another pair of particles, and go to the back-to-back configuration for these pairs, in which the properties of the neutrinos can be inferred without actually measuring them, thus avoiding Kaiser's Th.

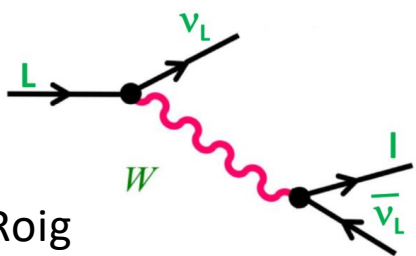
Inferring the nature of active neutrinos: Dirac or Majorana

(C.S. Kim, M.V.M. Murthy & D. Sahoo, PRD105(2022)11,113006)

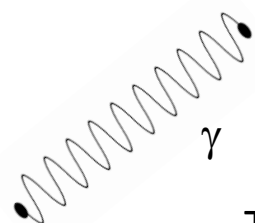
This paper apparently avoids the Kayser's confusion theorem 'Any property differentiating Dirac/Majorana neutrinos will be suppressed by active neutrino masses, with neutrinos coupling to the SM's $SU(2)_L$ '.

The idea is to use 4-body decays including a pair of ν s and another pair of particles, and go to the back-to-back configuration for these pairs, in which the properties of the neutrinos can be inferred without actually measuring them, thus avoiding Kaiser's Th.

When looked in depth (Juanma Márquez, Diego Portillo & P. R., to appear soon), there is a loophole in their derivation. When corrected, it yields observables which are orders or magnitude smaller than initially thought, possibly preventing the observation of this effect.



+



Taller IF-UNAM

Neutrinos de Dirac o de Majorana: ¿Alternativas a las desintegraciones doble beta sin neutrinos?

Pablo Roig
Dpto. de Física del Cinvestav

Taller "Más allá del SM y astropartículas"
IF-UNAM 15&16 de Marzo de 2023

