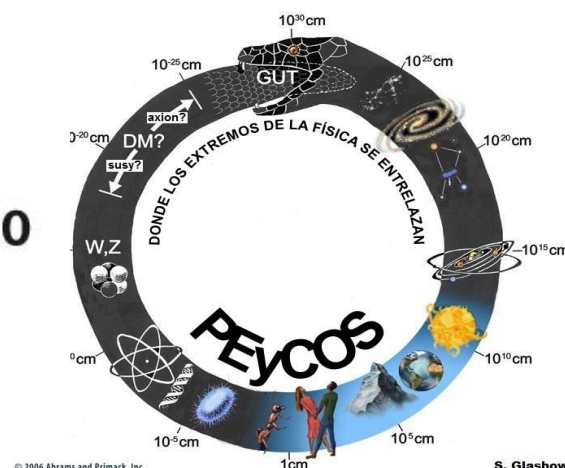


#SOMOSUA

# Prueba de la mecánica cuántica por medio de la oscilación de neutrinos utilizando la desigualdad de Leggett-Garg

Autor: Ricardo Jose Zamora Barrios

Universidad de los Andes  
Facultad de Ciencias  
Departamento de Física



**U**  
**A**  
Universidad  
del Atlántico  
VIGILADA MINEDUCACIÓN



CO-SC7289-1

## EPR, desigualdades de Bell y Leggett-Garg

---

Las análogas desigualdades de Bell y Leggett-Garg muestran una incompatibilidad entre la MC y el realismo local



Correlación entre las medidas en los tiempos  $t_i$  y  $t_j$

$$C_{ij} \equiv \langle \hat{Q}(t_i) \hat{Q}(t_j) \rangle, \quad (1)$$

parámetro de LGI  $K_n$  para  $n$  tiempos distintos

$$K_n \equiv \sum_{i=1}^{n-1} C_{i,i+1} - C_{n,1}. \quad (2)$$

La LGI, con  $n \geq 3$

$$K_n \leq n - 2. \quad (3)$$

## LGI

---

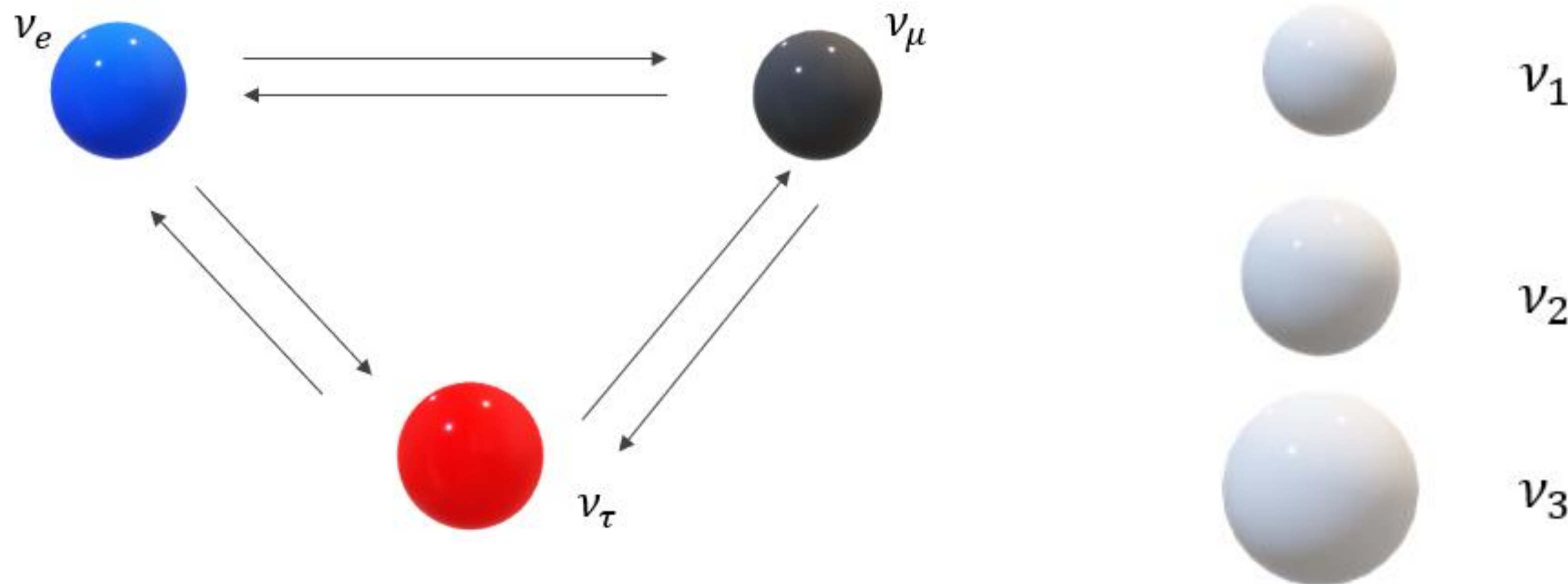
Estudiar experimentalmente hasta que punto el realismo macroscópico y la mensurabilidad no invasiva pueden cumplirse

# ¿Por qué oscilación de neutrinos?

#SOMOSUA

La relación que existe entre los estados de sabor y masa se extiende hasta distancias considerablemente grandes

$$|\nu_\alpha\rangle = \sum_i U_{\alpha i} |\nu_i\rangle \quad (4)$$



# Probabilidad de oscilación

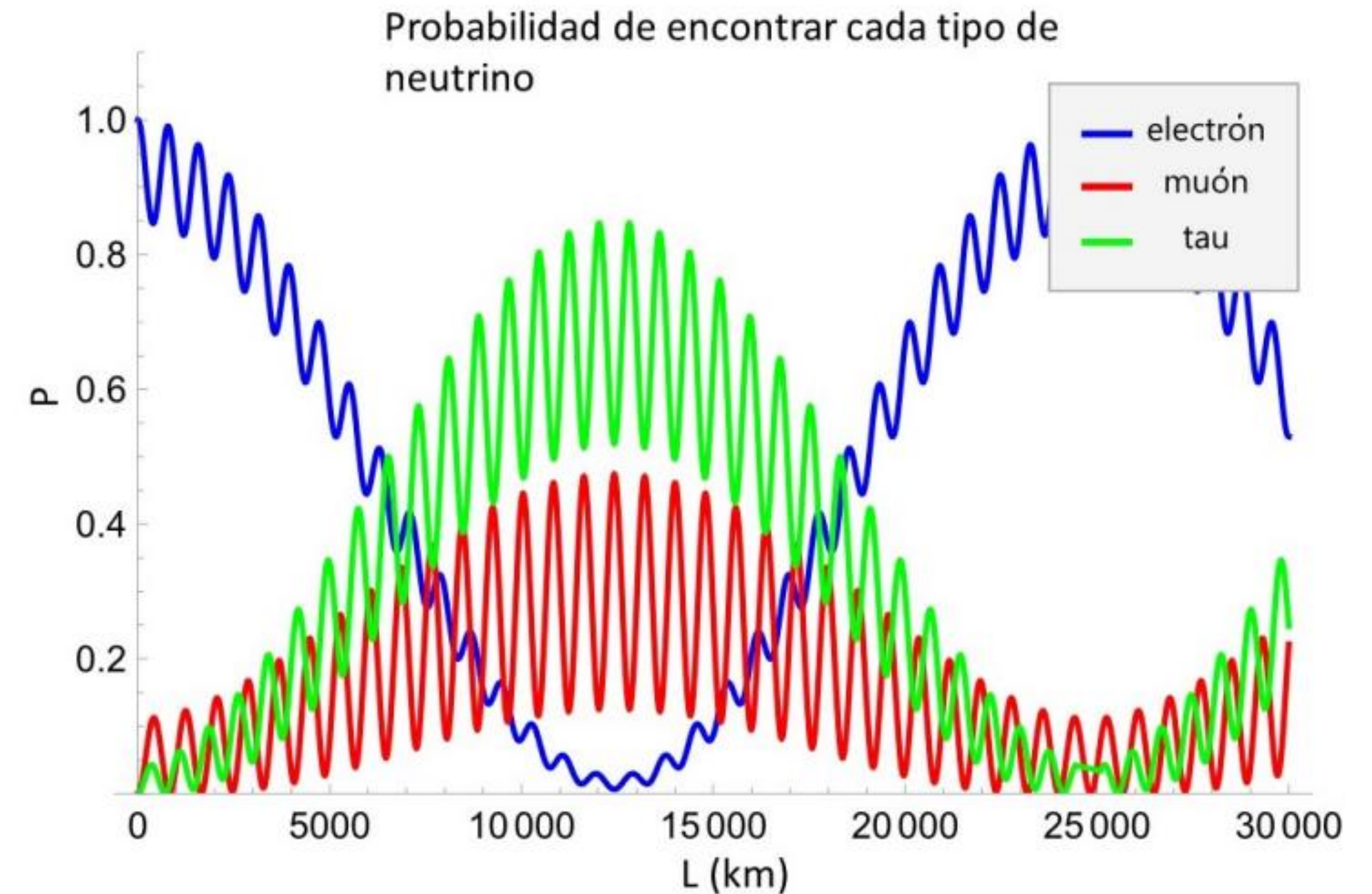
#SOMOSUA

La probabilidad de cambio de sabor

$$P_{\nu_{\alpha} \rightarrow \nu_{\beta}}(L, E) = \sin^2 2\theta \sin^2 \left( \frac{\Delta m^2 L}{4E} \right), \quad (5)$$

y la probabilidad de supervivencia viene dada por

$$P_{\nu_{\alpha} \rightarrow \nu_{\alpha}}(L, E) = 1 - \sin^2 2\theta \sin^2 \left( \frac{\Delta m^2 L}{4E} \right). \quad (6)$$



# LGI y la probabilidad de oscilación

#SOMOSUA

Parámetro de la LGI en términos de la probabilidad de supervivencia

$$K_n^Q = (2 - n) + 2 \sum_{a=1}^{n-1} P_{\mu\mu}(\psi_a) - 2P_{\mu\mu} \left( \sum_{a=1}^{n-1} \psi_a \right). \quad (7)$$

Para  $n = 4$

$$K_4 = -2 + 2(3)P_{\mu\mu}(\psi_a) - 2P_{\mu\mu}(3\psi_a), \quad (8)$$

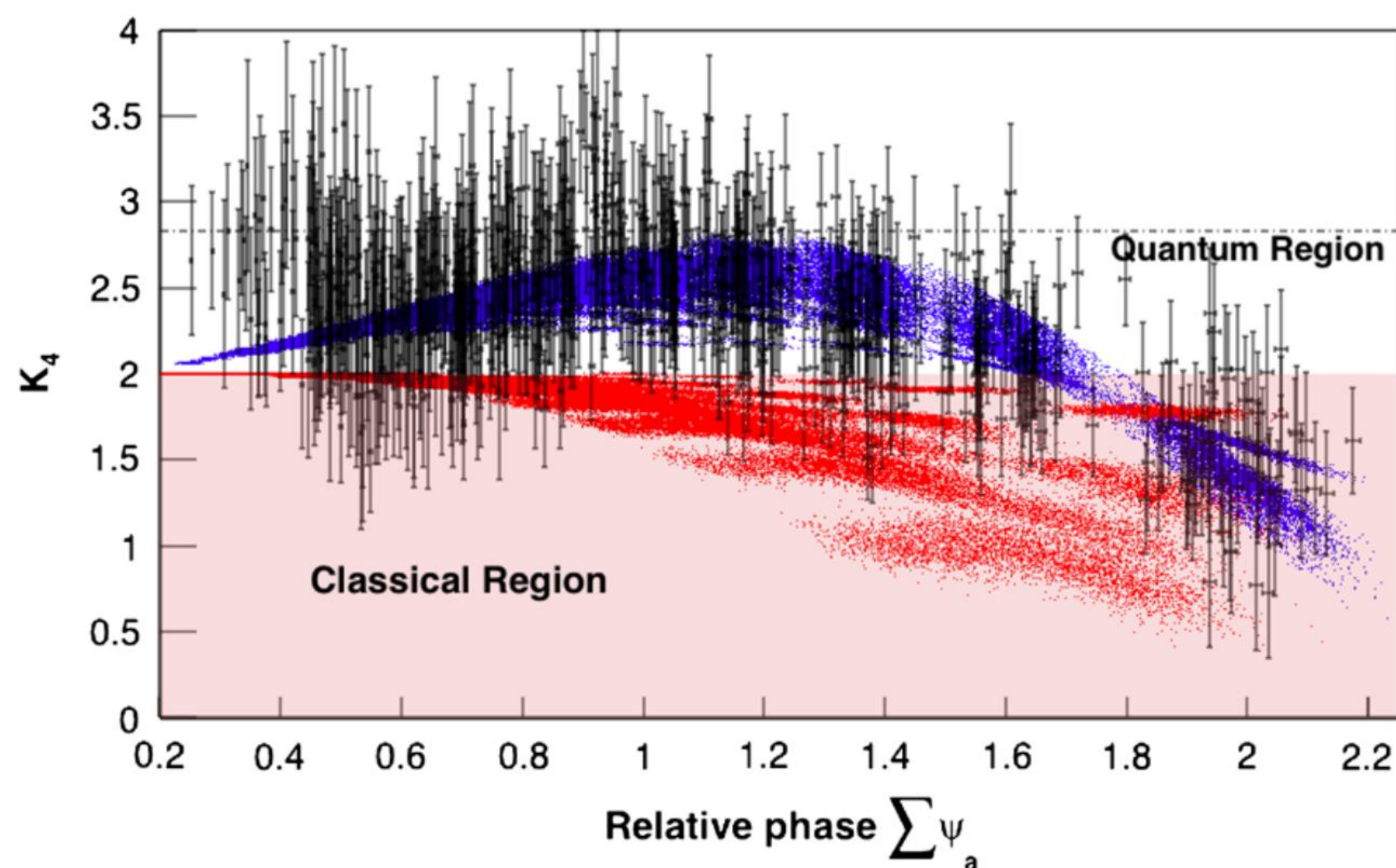
Y la LGI

$$K_4 \leq 2 \quad (9)$$

# VIOLACIÓN DE LA LGI

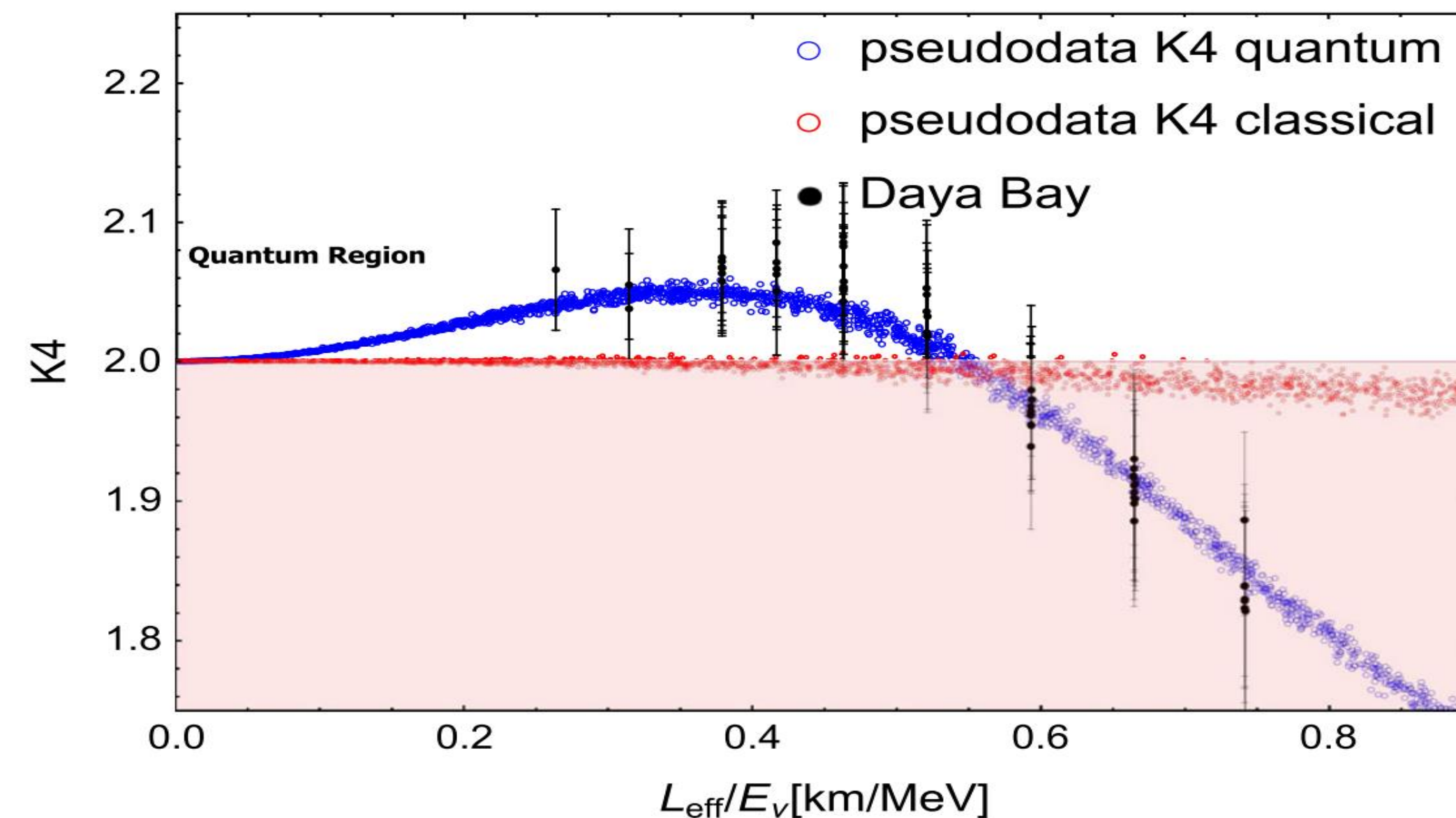
Utilizando el fenómeno de oscilación de neutrinos se busca poner en manifiesto una clara violación de la LGI

# LGI y probabilidad de oscilación de neutrinos



## MINOS

Violacion de la LGI por  $7\sigma$ , tomado de [2]



## Daya Bay

Violación de la LGI por  $6\sigma$ , tomado de [1]

[1] Fu, Q., & Chen, X. (2017). Testing violation of the Leggett–Garg-type inequality in neutrino oscillations of the Daya Bay experiment. *The European Physical Journal C*, 77(11), 1-6.

[2] Formaggio, J. A., Kaiser, D. I., Murskyj, M. M., & Weiss, T. E. (2016). Violation of the Leggett-Garg inequality in neutrino oscillations. *Physical review letters*, 117(5), 050402.



# Resumiendo

---

Se busca aportar a los estudios propuestos por Leggett-Garg sobre los límites realistas, analizando el límite clásico impuesto por la LGI en términos de los datos de la probabilidad de supervivencia de neutrinos medidos por los experimentos de MINOS, Daya Bay y RENO

