Dispersión (anti)neutrino-electrón como estudio de interacciones no estándares del neutrino

Ninibed Yelitza Gonzalez V

Universidad de Pamplona

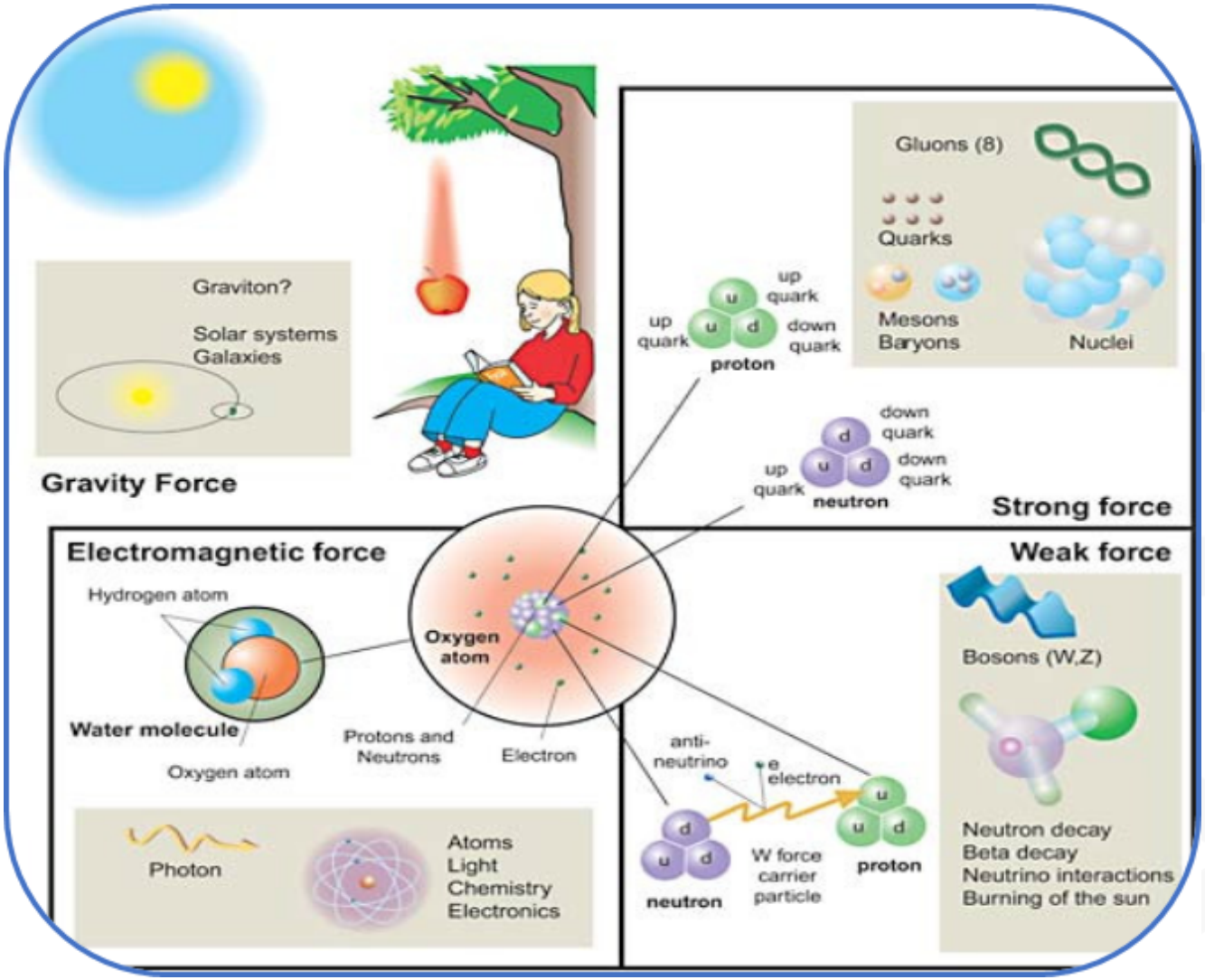
Departamento de Física y Geología

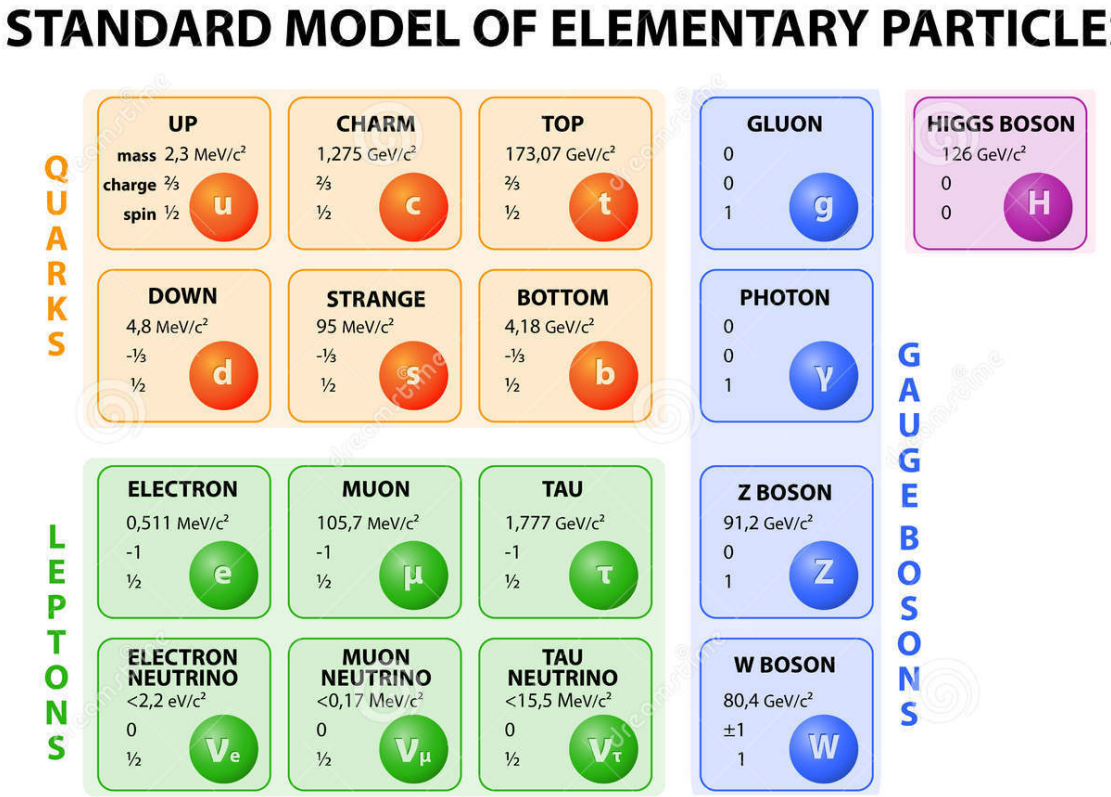
28 / 07 / 2021

Contenido de la charla

1. Introducción
   - fuerzas fundamenteles
   - Física de Neutrinos
   - El nacimiento del neutrino (Pauli, 1930)
   - Fuentes de neutrinos
2. Planteamiento del Problema
3. Objetivos
   - Objetivo General
   - Objetivos Específicos
4. Metodología
5. Marco Teórico
   - Dispersión $\nu_e - e^-$
   - Dispersión $\bar{\nu}_e - e^-$
6. Perspectivas

Fuerzas fundamentales





Neutrinos:

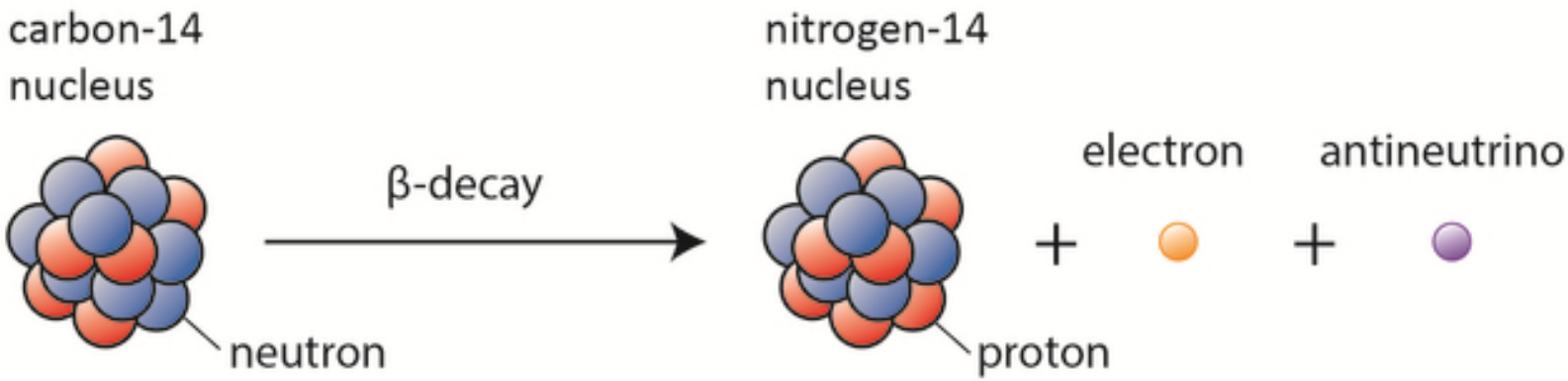
- → Son partículas fundamentales del ME.
- → Tienen espín semi-entero.
- → No tiene carga eléctrica.
- → Vienen en tres tipos de sabores: neutrino del electrón (ν_e), neutrino del muon (ν_μ), neutrino del tao (ν_τ).

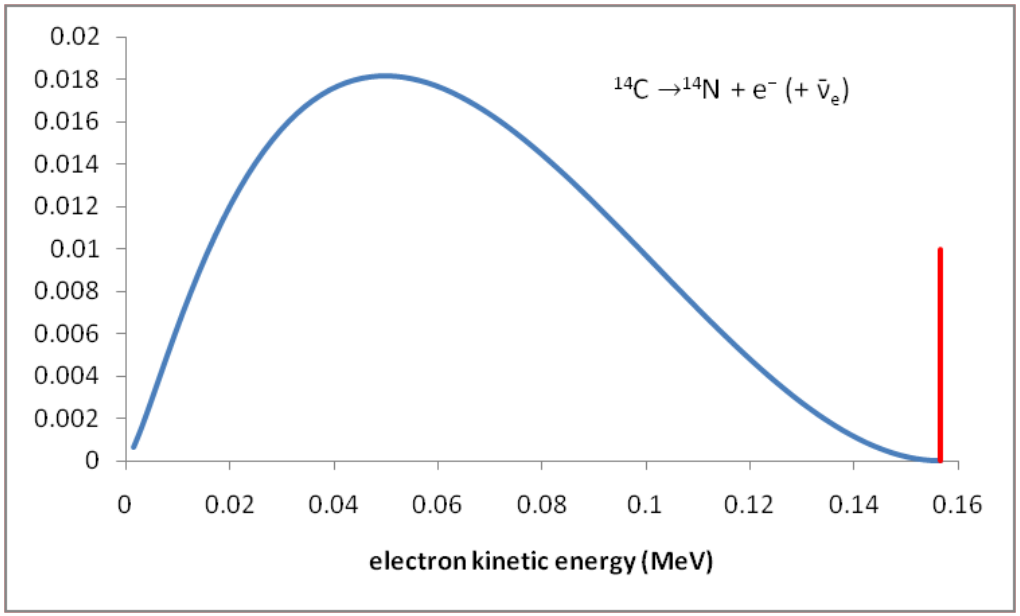
El nacimiento del neutrino (Pauli, 1930)

Dear Radioactive Ladies and Gentlemen,

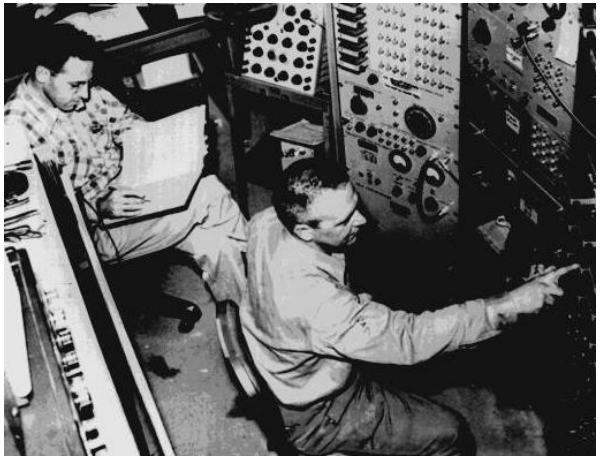
As the bearer of these lines, to whom I graciously ask you to listen, will explain to you in more detail, because of the "wrong" statistics of the N- and Li-6 nuclei and the continuous beta spectrum, I have hit upon a desperate remedy to save the "exchange theorem" (1) of statistics and the law of conservation of energy. Namely, the possibility that in the nuclei there could exist electrically neutral particles, which I will call neutrons, that have spin 1/2 and obey the exclusion principle and that further differ from light quanta in that they do not travel with the velocity of light. The mass of the neutrons should be of the same order of magnitude as the electron mass and in any event not larger than 0.01 proton mass. - The continuous beta spectrum would then make sense with the assumption that in beta decay, in addition to the electron, a neutron is emitted such that the sum of the energies of neutron and electron is constant.

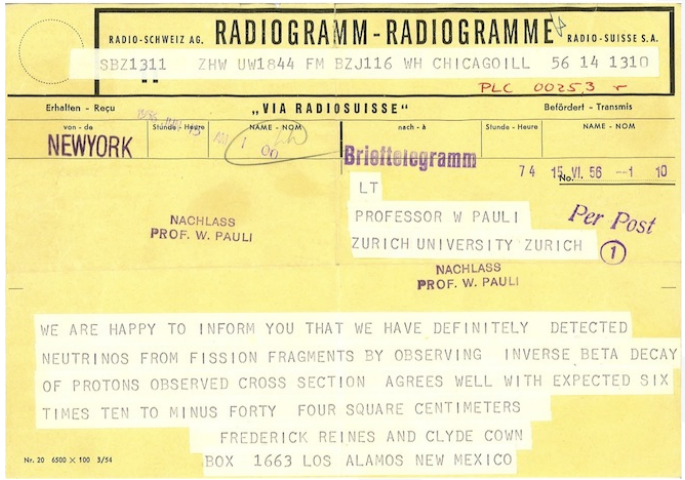
But so far I do not dare to publish anything about this idea, and trustfully turn first to you, dear radioactive people, with the question of how likely it is to find experimental evidence for such a neutron if it would have the same or perhaps a 10 times larger ability to get through [material] than a gamma-ray.


carbon-14
nucleus
β-decay
nitrogen-14
nucleus
electron
antineutrino
neutron
proton


$^{14}C \rightarrow ^{14}N + e^- (+ \bar{\nu}_e)$
0.02
0.018
0.016
0.014
0.012
0.01
0.008
0.006
0.004
0.002
0
0
0.02
0.04
0.06
0.08
0.1
0.12
0.14
0.16
electron kinetic energy (MeV)

Descubrimiento del ν: Junio 14(1956), Reines y Cowan (primera detección de neutrinos) envían un telegrama a Pauli...




RADIO-SCHWEIZ AG. RADIOGRAMM-RADIOGRAMME RADIO-SUISSE S.A.

SBZ1311 ZHW UW1844 FM BZJ116 WH CHICAGOILL 56 14 1310

PLC 00253

Erhalten - Reçu „VIA RADIOSUISSE" Befördert - Transmis

von - de NEWYORK

Briefteleqramm

74 15 No VI. 56 --1 10

LT

PROFESSOR W PAULI

ZURICH UNIVERSITY ZURICH

Per Post

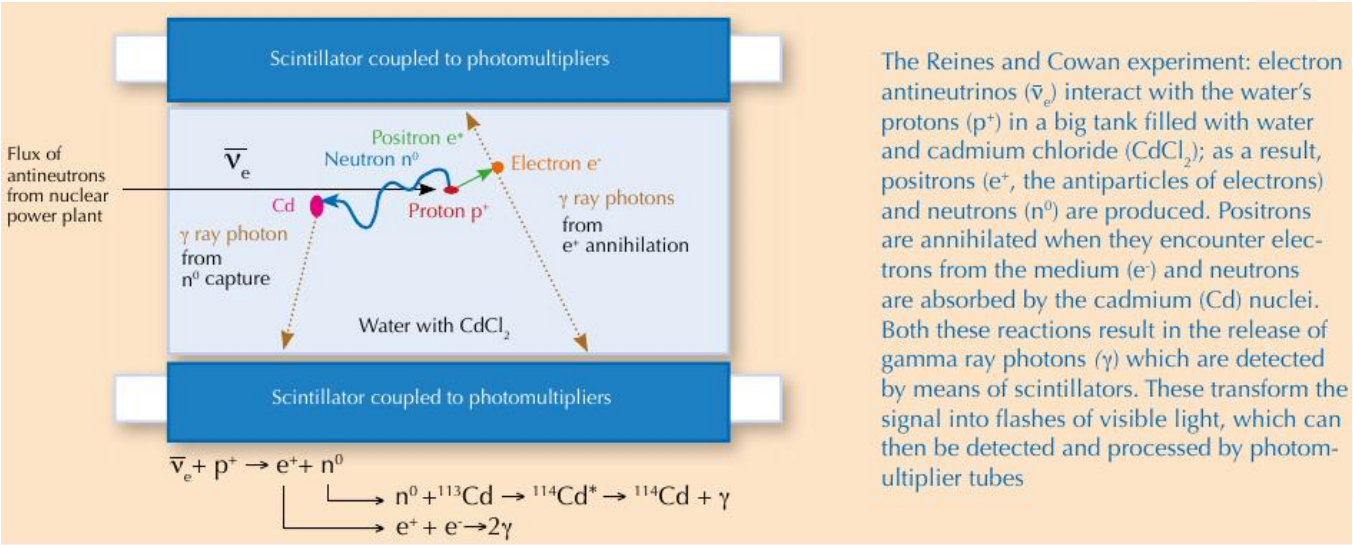
NACHLASS PROF. W. PAULI

NACHLASS PROF. W. PAULI

WE ARE HAPPY TO INFORM YOU THAT WE HAVE DEFINITELY DETECTED NEUTRINOS FROM FISSION FRAGMENTS BY OBSERVING INVERSE BETA DECAY OF PROTONS OBSERVED CROSS SECTION AGREES WELL WITH EXPECTED SIX TIMES TEN TO MINUS FORTY FOUR SQUARE CENTIMETERS

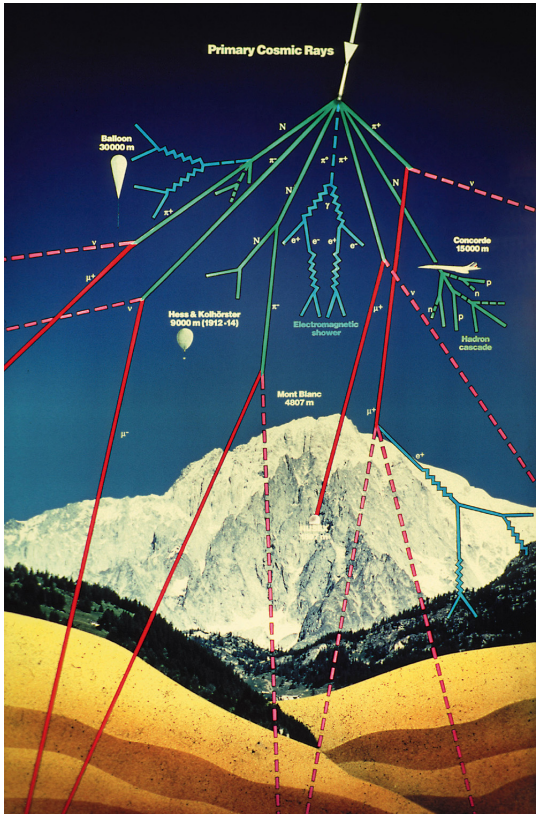
FREDERICK REINES AND CLYDE COWN

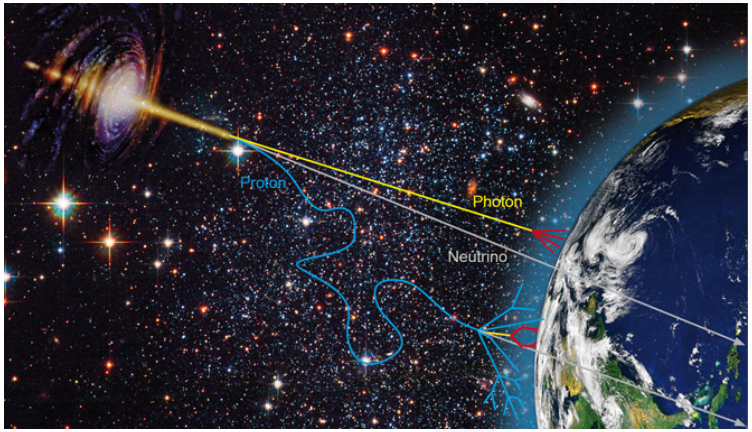
BOX 1663 LOS ALAMOS NEW MEXICO

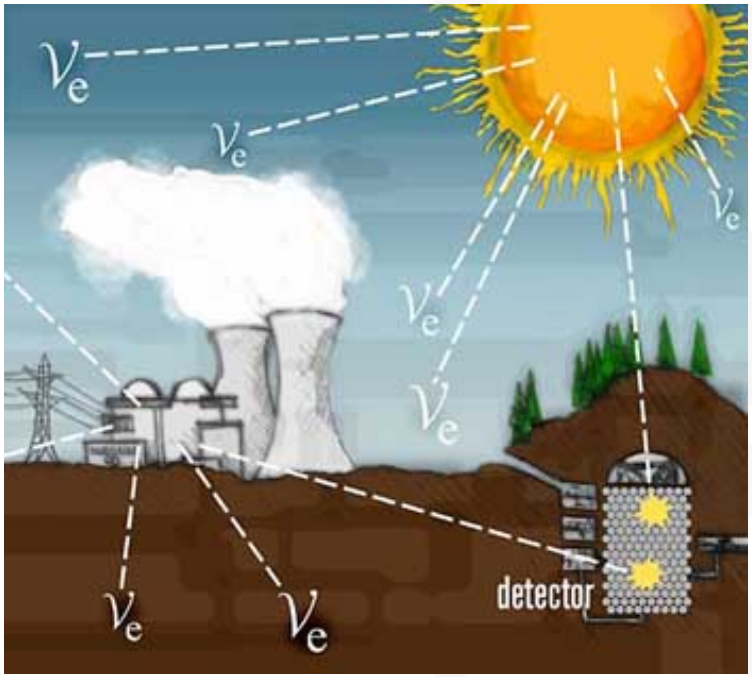


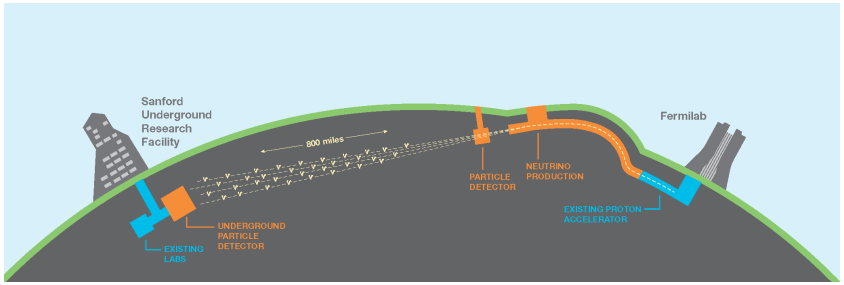
The Reines and Cowan experiment: electron antineutrinos ($\bar{\nu}_e$) interact with the water's protons (p^+) in a big tank filled with water and cadmium chloride ($CdCl_2$); as a result, positrons (e^+, the antiparticles of electrons) and neutrons (n^0) are produced. Positrons are annihilated when they encounter electrons from the medium (e^-) and neutrons are absorbed by the cadmium (Cd) nuclei. Both these reactions result in the release of gamma ray photons (γ) which are detected by means of scintillators. These transform the signal into flashes of visible light, which can then be detected and processed by photomultiplier tubes

Fuentes de neutrinos









PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- Estudiaremos la dispersión (anti)neutrino-electrón dentro del Modelo Estándar.
- Abordaremos el estudio fenomenológico de las Interacciones No Estándares (INE) asociadas a física nueva en el sector de neutrinos.
- Analizaremos el impacto que tienen dichas interacciones adicionales, de los neutrinos con la materia, en la dispersión (anti)neutrino-electrón.
- Realizaremos un estudio estadístico sobre el análisis de datos experimentales y su implementación en los códigos numéricos que nos permitirán obtener cotas a los parámetros de INE.

Objetivo General

- ✓ Estudiar la dispersión (anti)neutrino-electrón y su impacto en la determinación de interacciones no estándares en el sector de neutrinos.

Objetivos Específicos

- ✓ Realizar un estudio exhaustivo de la dispersión (anti)neutrino-electrón en el marco del Modelo Estándar.
- ✓ Analizar e investigar posibles interacciones adicionales a las del Modelo Estándar y su impacto en la dispersión (anti)neutrino-electrón.
- ✓ Desarrollar e implementar cálculos numéricos a fin de obtener cotas a las interacciones no estándar.

Metodología

Para realizar el desarrollo de los objetivos del proyecto de investigación se implementará la siguiente metodología: .

I

Revisión Bibliográfica

II

Fundamentación teórica

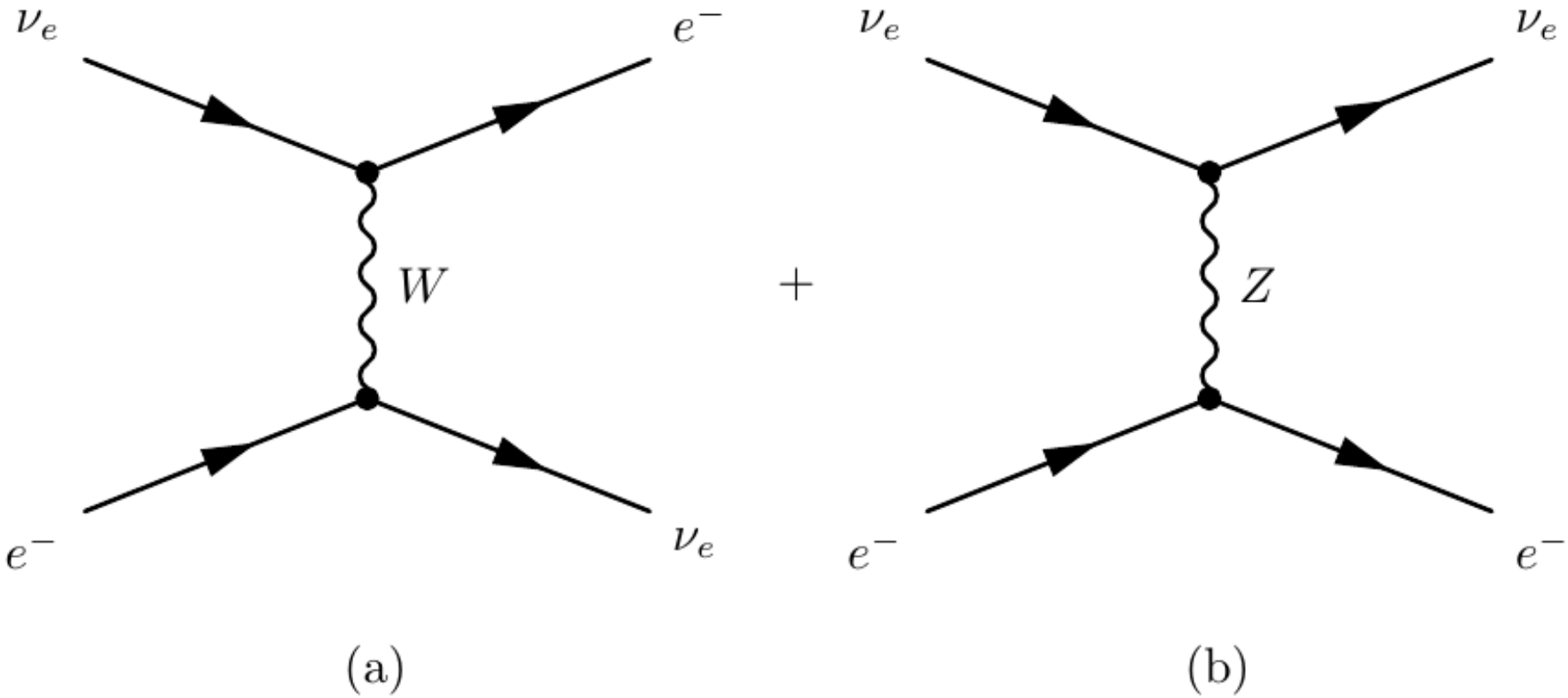
III

Cálculos computacionales

IV

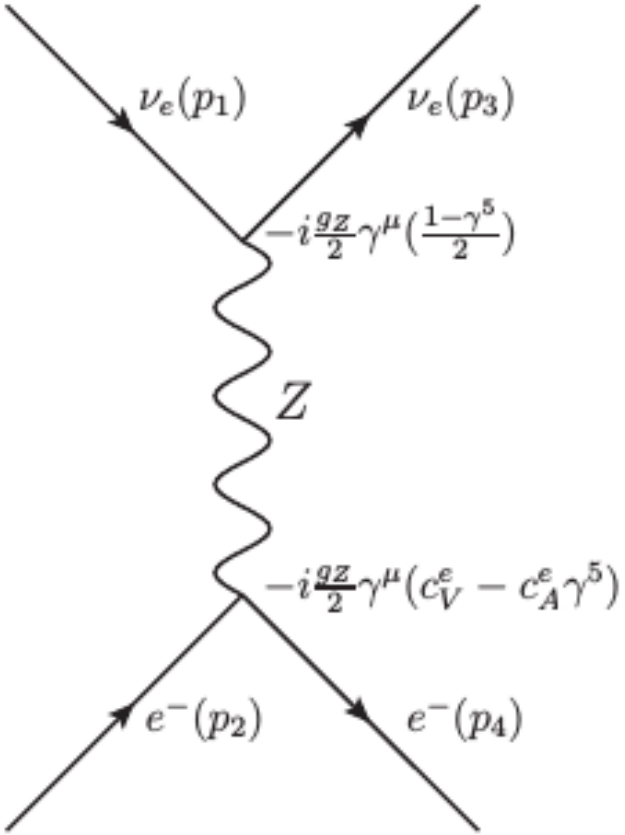
Presentación final

Dispersión $\nu_e - e^-$



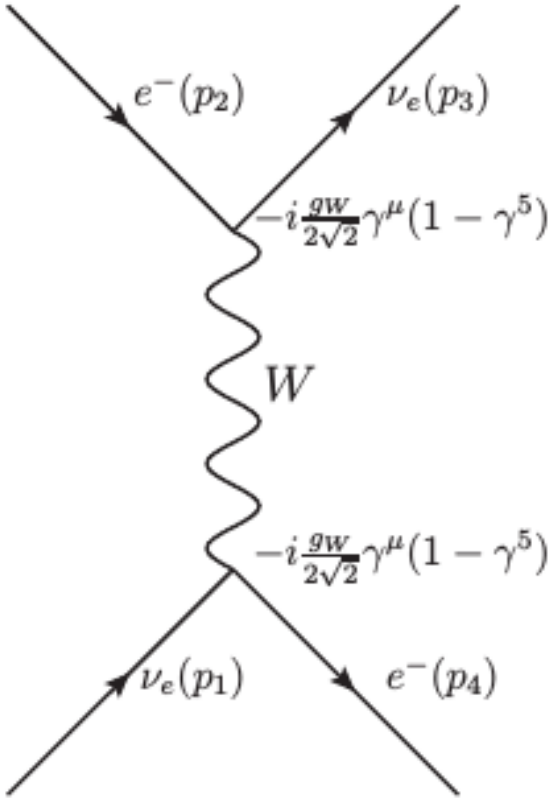
La amplitud para el proceso puede ser escrita como:

$$\mathcal{M}_{\nu_e - e^-} = \mathcal{M}^{NC}_{\nu_e - e^-} - \mathcal{M}^{CC}_{\nu_e - e^-}$$



Amplitud debido a la corriente Neutra

$$-i\mathcal{M}^{NC}_{\nu_e - e^-} = \left[\bar{u}(p_3)\frac{-ig_z}{2}\gamma^\mu\left(\frac{1-\gamma^5}{2}\right)u(p_1)\right] \frac{ig_{\mu\nu}}{m_z^2}\left[\bar{u}(p_4)\frac{-ig_z}{2}\gamma^\nu\left(c_V^e - c_A^e\gamma^5\right)u(p_2)\right]$$



Amplitud dedido a la corriente Cargada

$$-i\mathcal{M}^{CC}_{\nu_e - e^-} = \left[\bar{u}(p_4)\frac{-ig_w}{2\sqrt{2}}\gamma^\mu\left(1-\gamma^5\right)u(p_1)\right] \frac{ig_{\mu\nu}}{m_w^2}\left[\bar{u}(p_3)\frac{-ig_w}{2\sqrt{2}}\gamma^\nu\left(1-\gamma^5\right)u(p_2)\right]$$

Reemplazando las expresiones anteriores:

$$\begin{aligned}\mathcal{M}_{\nu_e - e^-} &= \mathcal{M}^{NC}_{\nu_e - e^-} - \mathcal{M}^{CC}_{\nu_e - e^-} \\ &= \frac{\sqrt{2} G_F}{2} \left[\bar{u}(p_3)\gamma^\mu \left(1-\gamma^5\right) u(p_1)\right] \\ &\quad \left[\bar{u}(p_4)\gamma_\mu \left(\left(c_V^e + 1\right) - \left(c_A^e + 1\right)\gamma^5\right) u(p_2)\right]\end{aligned}$$

Promediando sobre los espines:

$$\begin{aligned}\left\langle |\mathcal{M}|^2 \right\rangle_{\nu_e - e^-} &= \frac{1}{2}\frac{g_z^4}{m_z^4}\left[\left(\left(c_A^e + 1\right) + \left(c_V^e + 1\right)\right)^2 (p_1 \cdot p_2)(p_3 \cdot p_4)\right. \\ &+ \left(c_A^e - c_V^e\right)^2 (p_1 \cdot p_4)(p_2 \cdot p_3) \\ &- \left.m_2 m_4 \left(\left(c_A^e + 1\right)^2 - \left(c_V^e + 1\right)^2\right)(p_1 \cdot p_3)\right]\end{aligned}$$

Expresando los siguientes terminos en función de la energia de retroceso en el marco de reposo del electron inicial:

$$\begin{aligned} p_1 \cdot p_3 &= m_\nu^2 + m_e T \\ (p_1 \cdot p_4)(p_2 \cdot p_3) &= m_e^2 (E_1 - T)^2 \\ (p_1 \cdot p_2)(p_3 \cdot p_4) &= E_1^2 m_e^2 \end{aligned}$$

Encontramos $\left\langle |\mathcal{M}|^2 \right\rangle$ en terminos de la energia de retroceso del electrón:

$$\begin{aligned} \left\langle |\mathcal{M}|^2 \right\rangle_{\nu_e - e^-} &= 16 G_f^2 \Big[\left((c_A^e + 1) + (c_V^e + 1) \right)^2 E_1^2 m_e^2 \\ &+ (c_V^e - c_A^e)^2 m_e^2 (E_1 - T)^2 \\ &- m_e^2 \left((c_V^e + 1)^2 - (c_A^e + 1)^2 \right) (m_\nu^2 + m_e T) \Big] \end{aligned}$$

Sección eficaz diferencial $\nu_e - e^-$ con respecto a la energía de retroceso del electrón

$$\begin{aligned}\left(\frac{\mathrm{d}\sigma}{\mathrm{d}T}\right)_{\nu_e - e^-} &= |\mathcal{M}|^2 \frac{1}{32\pi m_e E_1^2} \\ &= \frac{G_F^2 m_e}{2\pi}\left[\left((c_A^e+1)+(c_V^e+1)\right)^2 (c_V^e - c_A^e)^2 \left(1-\frac{T}{E_1}\right)^2\right. \\ &- \left.\left((c_V^e+1)^2-(c_A^e+1)^2\right)\left(\frac{m_e T}{E_1^2}\right)\right]\end{aligned}$$

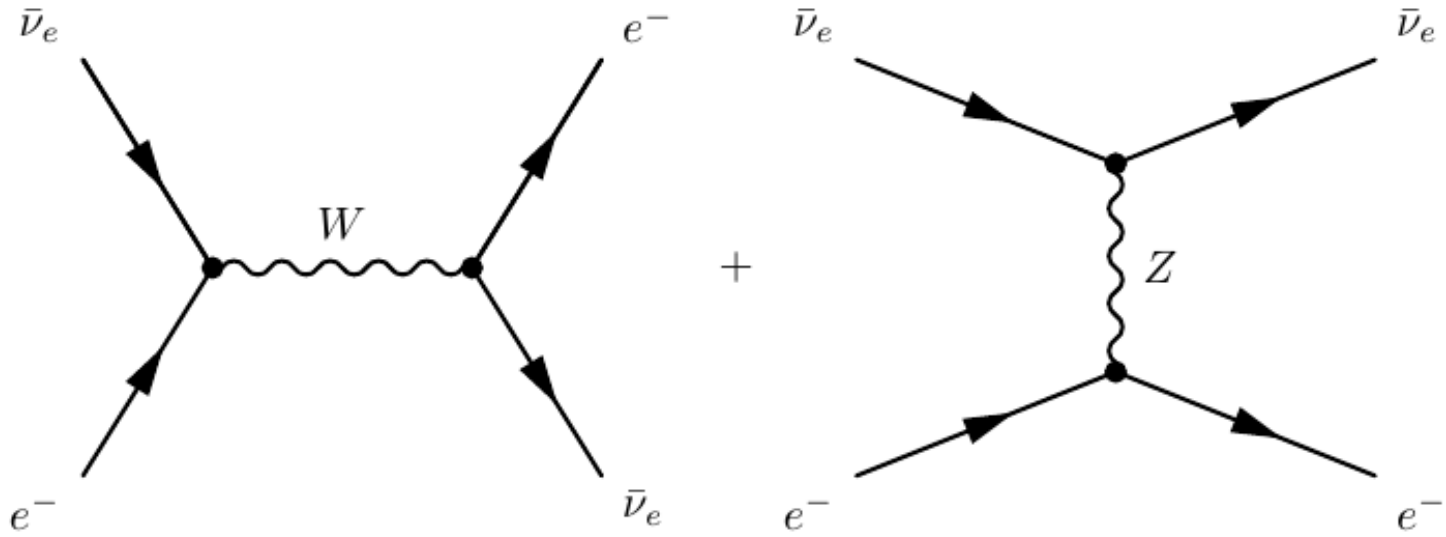
f	c_V	c_A
ν_e, ν_μ, ν_τ	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
e, μ, τ	$-\frac{1}{2} + 2\sin^2\theta_w$	$-\frac{1}{2}$

Tabla: valores de los acomplamietos vectoriales y axiales de los fermiones en el SM

$$\left(\frac{\mathrm{d}\sigma}{\mathrm{d}T}\right)_{\nu_e - e^-} = \frac{2G_F^2 m_e}{\pi}\left[\left(\frac{1}{4} + \sin^2\theta_w + \sin^4\theta_w\right)\right.$$
$$\left. + \sin^4\theta_w\left(1 - \frac{T}{E_1}\right)^2 - \left(\frac{1}{2}\sin^2\theta_w + \sin^4\theta_w\right)\left(\frac{m_e T}{E_1^2}\right)\right]$$

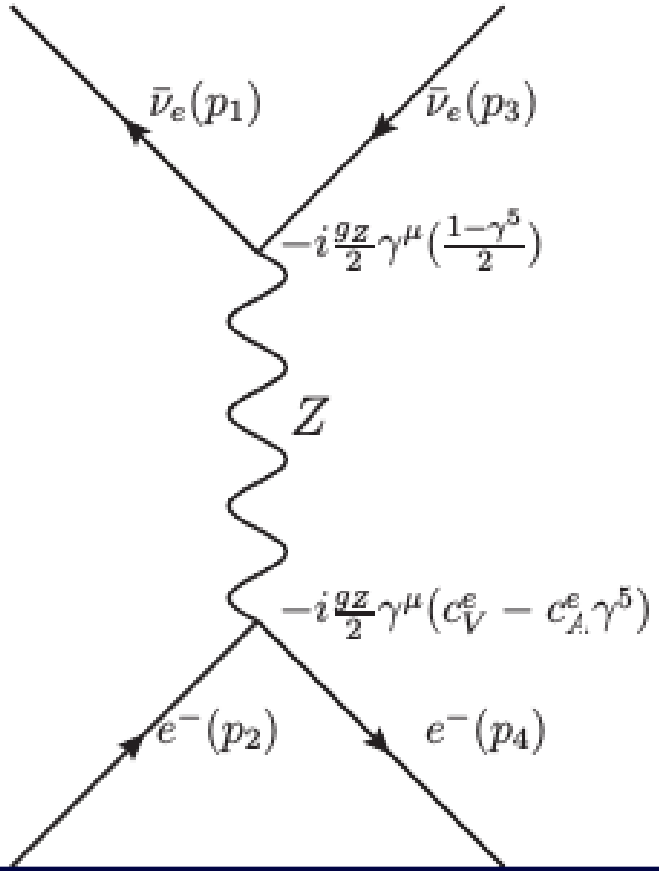
$$\left(\frac{\mathrm{d}\sigma}{\mathrm{d}T}\right)_{\nu_e - e^-} = \frac{2G_F^2 m_e}{\pi}\left[(g_L)^2 + (g_R)^2\left(1 - \frac{T}{E_1}\right)^2 - (g_L g_R)\left(\frac{m_e T}{E_1^2}\right)\right]$$

Dispersión $\bar{\nu}_e - e^-$



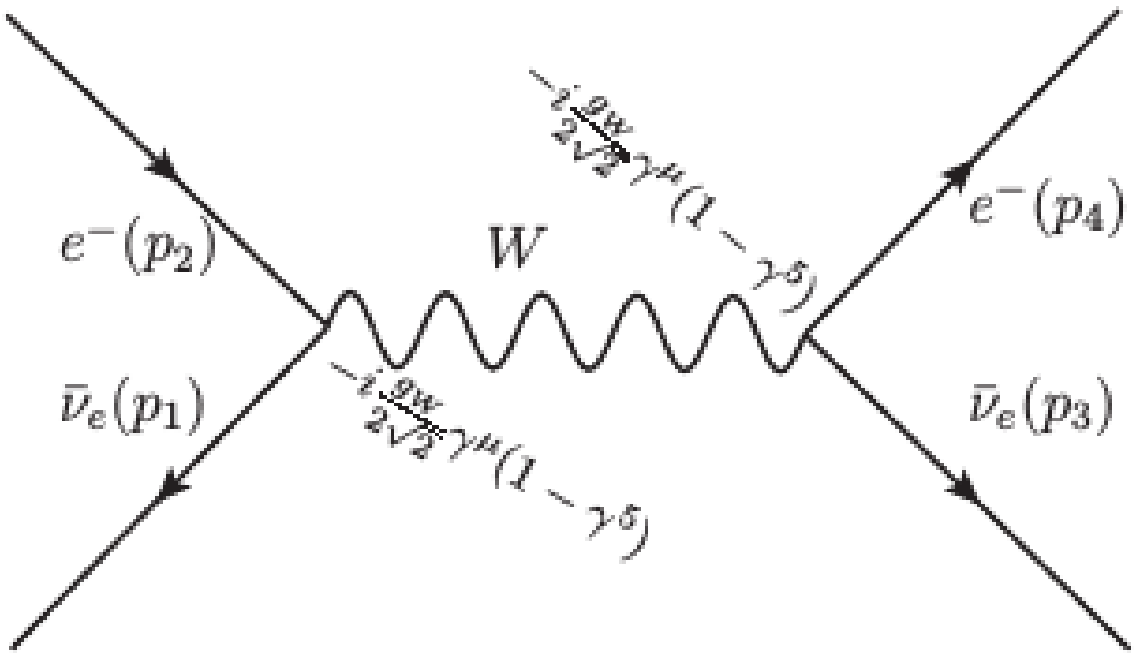
La amplitud para el proceso puede ser escrita como:

$$\mathcal{M}_{\bar{\nu}_e - e^-} = \mathcal{M}^{NC}_{\bar{\nu}_e - e^-} - \mathcal{M}^{CC}_{\bar{\nu}_e - e^-}$$



Amplitud dedido a la corriente Neutra

$$-i\mathcal{M}^{NC}_{\bar{\nu}_e - e^-} = \left[\bar{\nu}(p_1)\frac{-ig_z}{2}\gamma^\mu\left(\frac{1-\gamma^5}{2}\right)\nu(p_3)\right] \frac{ig_{\mu\nu}}{m_z^2}\left[\bar{u}(p_4)\frac{-ig_z}{2}\gamma^\nu\left(c_V^e - c_A^e\gamma^5\right)u(p_2)\right]$$



Amplitud dedido a la corriente Cargada

$$-i\mathcal{M}^{CC}_{\bar{\nu}_e - e^-} = \left[\bar{u}(p_4)\frac{-ig_w}{2\sqrt{2}}\gamma_\mu\left(1-\gamma^5\right)\nu(p_3)\right] \frac{ig_{\mu\nu}}{m_w^2}\left[\bar{\nu}(p_1)\frac{-ig_w}{2\sqrt{2}}\gamma^\mu\left(1-\gamma^5\right)u(p_2)\right]$$

Reemplazando las expresiones anteriores:

$$\begin{aligned}\mathcal{M}_{\bar{\nu}_e - e^-} &= \frac{\sqrt{2}G_F}{2}\left[\bar{u}\left(-p_1\right)\gamma_\mu\left(1-\gamma^5\right)u\left(-p_3\right)\right] \\ &\quad \left[\bar{u}\left(p_4\right)\gamma^\mu\left(\left(c_V^e+1\right)-\left(c_A^e+1\right)\gamma^5\right)u\left(p_2\right)\right]\end{aligned}$$

Promediando sobre los espines:

$$\begin{aligned}\left\langle\left|\mathcal{M}\right|^2\right\rangle_{\bar{\nu}_e - e^-} &= \frac{1}{2}\frac{g_z^4}{m_z^4}\left[\left(\left(c_A^e+1\right)+\left(c_V^e+1\right)\right)^2\left(p_2\cdot p_3\right)\left(p_4\cdot p_1\right)\right. \\ &+ \left(c_A^e-c_V^e\right)^2\left(p_4\cdot p_3\right)\left(p_2\cdot p_1\right) \\ &- \left.m_2 m_4\left(\left(c_V^e+1\right)^2-\left(c_A^e+1\right)^2\right)\left(p_1\cdot p_3\right)\right]\end{aligned}$$

Expresando los siguientes terminos en función de la energia de retroceso en el marco de reposo del electron inicial:

$$\begin{aligned} p_1 \cdot p_3 &= m_\nu^2 + m_e T \\ (p_1 \cdot p_4)(p_2 \cdot p_3) &= m_e^2 (E_1 - T)^2 \\ (p_1 \cdot p_2)(p_3 \cdot p_4) &= E_1^2 m_e^2 \end{aligned}$$

Encontramos $\left\langle |\mathcal{M}|^2 \right\rangle$ en terminos de la energia de retroceso del electrón:

$$\begin{aligned} \left\langle |\mathcal{M}|^2 \right\rangle_{\bar{\nu}_e - e^-} &= 16 G_f^2 \Big[\left((c_A^e + 1) + (c_V^e + 1) \right)^2 m_e^2 (E_1 - T)^2 \\ &+ (c_V^e - c_A^e)^2 m_e^2 E_1^2 \\ &- m_e^2 \left((c_V^e + 1)^2 - (c_A^e + 1)^2 \right) (m_\nu^2 + m_e T) \Big] \end{aligned}$$

Sección eficaz diferencial $\bar{\nu}_e - e^-$ con respecto a la energía de retroceso del electrón

$$\begin{aligned}\left(\frac{\mathrm{d}\sigma}{\mathrm{d}T}\right)_{\bar{\nu}_e - e^-} &= |\mathcal{M}|^2 \frac{1}{32_e E_1^2} \\ &= \frac{G_F^2 m_e}{2\pi}\left[((c_A^e+1)+(c_V^e+1))^2\left(1-\frac{T}{E_1}\right)^2\right. \\ &+ \left.(c_V^e-c_A^e)^2-\left((c_V^e+1)^2-(c_A^e+1)^2\right)\left(\frac{m_e T}{E_1^2}\right)\right]\end{aligned}$$

f	c_V	c_A
ν_e, ν_μ, ν_τ	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
e, μ, τ	$-\frac{1}{2} + 2\sin^2\theta_w$	$-\frac{1}{2}$

Tabla: valores de los acomplamietos vectoriales y axiales de los fermiones en el SM

Sección eficaz diferencial $\bar{\nu}_e - e^-$ con respecto a la energía de retroceso del electrón

$$\left(\frac{\mathrm{d}\sigma}{\mathrm{d}T}\right)_{\bar{\nu}_e - e^-} = \frac{2G_F^2 m_e}{\pi}\left[\left(\frac{1}{4} + \sin^2\theta_w + \sin^4\theta_w\right)\left(1 - \frac{T}{E_1}\right)^2 + \sin^4\theta_w - \left(\frac{1}{2}\sin^2\theta_w + \sin^4\theta_w\right)\left(\frac{m_e T}{E_1^2}\right)\right]$$

$$\left(\frac{\mathrm{d}\sigma}{\mathrm{d}T}\right)_{\bar{\nu}_e - e^-} = \frac{2G_F^2 m_e}{\pi}\left[(g_L)^2\left(1 - \frac{T}{E_1}\right)^2 + (g_R)^2 - (g_L g_R)\left(\frac{m_e T}{E_1^2}\right)\right]$$

Perspectivas

- Llevar a cabo el análisis estadístico a fin de obtener límites a los parámetros de INE.
- Escritura y posible envío a revista nacional o internacional de los resultados obtenidos de la investigación
- Preparación del informe final de la investigación.
- Presentación pública de los resultados obtenidos.

¡Muchas gracias!

Referencias

- Zuber, K. (2004). Neutrino Physics. New York, NY: Taylor Francis Group.
- Griffiths, D. (1987). introduction to elemtary particles. New York,NY: John Wiley Sons, Inc.
- Giunti, C., kim, C. w. (2007). Fundamentals of Neutrino Physics and Astrophysics. New York: Oxford University Press Inc.
- Y. Fukuda et al.", Phys. Rev. Lett. 81(1998).
- Q. R. Ahmud et al, Phys. Rev. Lett. 89, 011301 (2002).
- L. Wolfenstein, Phys. Rev. D17, 2369 (1978).