

# NUEVA FÍSICA EN DECAIMIENTO DEL LEPTON TAU

Diaz Soto Jairo Saul (1), Ghislain Delepine David Yves (2)

<sup>1</sup> [Bachillerato General, ENMS Centro Histórico León, Universidad de Guanajuato] | [tresarrova@gmail.com]

<sup>2</sup> [Departamento de Física, División de Ciencias e Ingenierías, Campus León, Universidad de Guanajuato] | [david\_delepine@hotmail.com]

## Resumen

Las partículas fundamentales de la materia junto a sus interacciones son descritas estrictamente por el modelo estándar de las interacciones electro débiles y fuertes (SM); este se divide en 2 tipos de partículas: fermiones y bosones; dentro de los fermiones se distinguen dos grupos de partículas los quarks y los LEPTONES. Entre los leptones se destaca el leptón tau, el cual cabe mencionar es el más masivo de su clasificación, el cual nos compete estudiar sus múltiples decaimientos que violan ciertos criterios establecidos por el SM, mediante dicho proceso podemos observar nueva física aun no descrita llámese nuevas partículas o interacciones, con más precisión hablaremos sobre la interacción que sucede debido a la violación del sabor leptónico (LFV) en el canal de decaimiento  $\tau \rightarrow e\gamma$ .

## Abstract

The fundamental particles of matter along with their interactions are strictly described by the standard model of weak and strong (SM) interactions; This is divided into 2 types of particles: fermions and bosons; Within the fermions are distinguished two groups of particles quarks and LEPTONES. Leptons include lepton tau, which is the most massive of its classification, which is responsible for studying its multiple decays that violate certain criteria established by the SM, through this process we can observe new physics not yet described be called new Particles or interactions, we will more accurately discuss the interaction that occurs due to lepton flavor violation (LFV) in the decay channel  $\tau \rightarrow e\gamma$  that will be studied here.

### Palabras Clave:

Masa; Energía; Momento; Partícula Fundamental

## INTRODUCCIÓN

### Descubrimiento y relevancia

Se supuso la existencia del tau hacia el año 1973 por Martin Lewis Pearl en el acelerador de partículas SPEAR, debido a que la desintegración de las colisiones allí producidas tenía una anomalía con el balance de energía donde el estado final de energía tenía una descompensación. Pronto dedujo que al colisionar el par electrón estos formaban un par tau-anti tau que rápidamente decaían hacia todas las demás partículas observadas.

En 1975 por fin se observó de manera precisa al tau en un colisionador de hadrones, debido que la energía para generar el par tau-anti tau era muy grande, Pearl recibe el premio nobel por este descubrimiento el mismo año. [1]

La gran masa del tau nos lleva a varias canales de decaimientos, los cuales se dividen en 2 grupos: leptónicos y hadronicos. Dentro de los decaimientos leptónicos se encuentran cosas importantes a resaltar debido a que en una minúscula parte de ellos viola varias reglas del modelo estándar uno de ellos es la violación del sabor leptónico.

El sabor leptónico se refiere al tipo de partícula en cuestión, se establecen 3 sabores leptónicos, uno por cada par leptónico (electrón, muon y tau, junto a su par neutrino). Dentro de los decaimientos se encuentra que el tau viola este sabor al no conservarlo

Para dar cabida a estas violaciones encontramos que el modelo estándar no predijo estas interacciones lo cual nos da paso a potencial nueva física encontrada en las diferentes modalidades de los decaimientos del tau.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Lo primero que debemos explicar es que trabajamos en sistemas de unidades naturales donde los valores de las constantes como  $c=1$  (velocidad de la luz) y  $\hbar=1$  (constante de Planck reducida). Para poder así trabajar con masa, tiempo y distancia en unidades relativas a energía. Conversiones en Tabla 1. [2]

Tabla 1: Conversión	
Unidad	energía
1s	$1.52 \times 10^{21} \text{MeV}^{-1}$
$\Gamma_{\tau \rightarrow e\gamma}$	$< 7.47701 \times 10^{-17} \text{MeV}$

A partir de aquí comenzamos a estudiar el proceso donde se viola el sabor leptónico de la siguiente manera:

Comenzamos analizando la cuota superior de el decaimiento  $\tau \rightarrow e\gamma$  (tabla 2) donde tenemos [3]

$$\frac{\Gamma_{\tau \rightarrow e\gamma}}{\Gamma_{\text{Tot}}} < 3.3 \times 10^{-8} \quad (1)$$

Tenemos también la ecuación para calcular la probabilidad de un decaimiento de 1 cuerpo a 2

$$\Gamma_{1 \rightarrow 2} = \frac{1}{32\pi^2} \frac{|P_1|}{M_\tau^2} 4\pi |M|^2 \quad (2)$$

donde se tiene a  $|M|^2$  como la amplitud del proceso al cuadrado;  $|P_1|$  como el momento de la partícula saliente.

Para obtener la amplitud del proceso por definición se tiene que

$$|M|^2 \sim e^2 m_{\tau e}^2 \quad (3)$$

donde  $e$  es la carga elemental y  $m_{\tau e}$  es la energía de la interacción que buscamos.

Ahora, para determinar el momento cuando una partícula decae de 1 a 2 cuerpos tenemos que

$$|\vec{P}_1|^2 = E_1^2 - m_1^2 \quad (4.1)$$

Debido a que solo tenemos las masas tenemos por definición que [2]

$$E_1 = \frac{M_\tau^2 + m_1^2 - m_2^2}{2M_\tau} \quad (4.2)$$

Sustituimos (4.2) en (4.1)

$$|\vec{P}_1|^2 = \left( \frac{M_\tau^2 + m_1^2 - m_2^2}{2M_\tau} \right)^2 - m_1^2$$

Reducimos para obtener (4)

$$|\vec{P}_1| = \frac{\{[M_\tau^2 - (m_1 + m_2)^2][M_\tau^2 - (m_1 - m_2)^2]\}^{\frac{1}{2}}}{2M_\tau}$$

Como última ecuación preliminar tenemos a la constante de las estructuras finas, definida así

$$\alpha_{elec} = \frac{e^2}{4\pi} \quad (5)$$

Con todo este proceso, pasaremos a encontrar la energía de la interacción definida como  $m_{\tau e}^2$

Sustituimos (3) en (2)

$$\Gamma_{1 \rightarrow 2} = \frac{1}{32\pi^2} \frac{|\vec{P}_1|}{M_\tau^2} 4\pi e^2 m_{\tau e}^2$$

Despejamos  $m_{\tau e}^2$  y reducimos la ecuación

$$m_{\tau e}^2 = \frac{4\pi M_\tau^2}{e^2 |\vec{P}_1|} 2\Gamma_{1 \rightarrow 2}$$

Sustituimos 5 y propiedad de la tabla 2 dado que

$$\Gamma_{1 \rightarrow 2} = \Gamma_{\tau \rightarrow e\gamma}$$

Entonces tenemos:

$$m_{\tau e}^2 = \alpha_{elec}^{-1} \frac{M_\tau^2}{|\vec{P}_1|} 2\Gamma_{\tau \rightarrow e\gamma}$$

Al sustituir los valores de las masas (tabla 2) obtenemos que

$$|\vec{P}_1| = 888 \text{ MeV}$$

Tabla 2: Masas	
$M_\tau$	1776 MeV
$m_1 = m_e$	0.511 MeV
$m_2 = m_\nu$	0
$ \vec{P}_1 $	888 MeV
$\alpha_{elec} =$	$\frac{1}{137.035999}$

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado tal obtenemos que la energía de la interacción o partícula queda expresada de la siguiente forma:

Sustituimos los valores para obtener  $m_{\tau e}$  y se divide sobre la masa del tau para obtener algo sin unidades tal que

$$\frac{m_{\tau e}}{M_{\tau}} < \frac{\left[ \frac{(137.036)(1776\text{MeV})^2}{(888\text{MeV})} (7.47701 \times 10^{-17}\text{MeV}) \right]^{1/2}}{(1776\text{MeV})}$$

Resolviendo obtenemos que:

$$\frac{m_{\tau e}}{M_{\tau}} < 4.8038775 \times 10^{-9}$$

Esto nos permite acotar los modelos para obtener nueva física debido a las interacciones aquí descritas.

Podemos destacar que varios grupos científicos concuerdan con que la violación presentada en este tipo de decaimiento da paso a física nueva, el cual será demostrado por el colisionador Belle II en tiempo futuro.

## CONCLUSIONES

Debido a dicha violación del modelo estándar, se presume de nueva física, lo interesante del caso destaca en que no solo existe este canal de decaimiento quien viola al modelo estándar, sino que existen múltiples canales de decaimiento que permiten procesos prohibidos por el SM.

Entonces aquí la importancia de estudiar dichas violaciones por medio de los decaimientos del Tau para darle un ajuste al modelo estándar y no solo esto, sino a su vez buscar otras violaciones dentro del SM y la aplicación benéfica que podría conllevar toda esta física nueva.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco primordialmente y profundamente a mi familia, quienes sin ellos no sería posible nada de mi avance académico.

Agradezco también a la Universidad de Guanajuato, un pilar imprescindible en mi enfoque y, un soporte y camino para mis proyectos de vida incluidos la investigación. Agradezco al Dr. David Yves Ghislain Delepine quien fue mi asesor en este proyecto, me brindo todo el apoyo necesario para la realización y conclusión de este proyecto.

Para finalizar agradezco a los profesores de mi institución quienes me alentaron a participar en los veranos de investigación. Profesores: Diego Armando Nicasio Tovar y Miguel Ángel Ruiz Torres.

## REFERENCIAS

### Artículo:

- [1] Perl, Martin L. (1992). The Discovery of the Tau Lepton. California. SLAC-PUB-5937
- [2]. Jackson, J.D (2016). Kinematics. Sheffield.
- [3] Bell colaboration. (2016) New physics search in rare tau decays at Belle and prospects at Belle II. Tokio.