

# NUEVA FÍSICA EN DECAIMIENTO DEL LEPTÓN TAU

Julia Andrea Lunar Pérez, Dr. David Yves Ghislain Delepine, Gilberto Perea Olmos

<sup>1</sup> Licenciatura en Física, Universidad de Guanajuato | jalunarp@gmail.com

<sup>2</sup> Departamento de Física, División de Ciencias e Ingenierías, Campus León, Universidad de Guanajuato | delepine@fisica.ugto.mx

<sup>3</sup> Departamento de Física, División de Ciencias e Ingenierías, Campus León, Universidad de Guanajuato | po.gilberto@ugto.mx

## Resumen

El modelo estándar se utiliza para describir las interacciones fundamentales y las partículas elementales de las que está hecha la materia, siendo éstas las partículas últimas que no tienen estructura; de acuerdo al modelo estándar, las partículas se dividen a su vez en fermiones y bosones, siendo los primeros las partículas con espín  $1/2$  y los últimos las partículas con espín  $0$  o entero. De los fermiones hay dos divisiones que podemos notar, los quarks y los leptones, los quarks nunca se encuentran aislados y se agrupan para formar los hadrones; lo que nos compete en éste proyecto es el estudio de uno de los leptones más masivos: El leptón tau. Decaimiento es el proceso por el cual una partícula de masa  $m$  se transforma en un cierto número de partículas con menor masa. El tau es el único leptón que tiene la masa necesaria para poder desintegrarse en hadrones. Todas las desintegraciones son debidas a la interacción débil, y todas conservan el número tauónico. Por tanto incluyen un neutrino tauónico, aunque debido a la propia naturaleza de los mismos son muy difíciles de detectar, dada su escasa interacción con la materia.

## Abstract

The standard model is used to describe the fundamental interactions and particles of which matter is made of, these are the last particles that have no structure; in the standard model, particles are subdivided into fermions and bosons, with the first particles with spin  $1/2$  and the latter ones with spin  $0$  or  $1$  and they are the representation of the fundamental forces. There are two kind of fermions: quarks and leptons, quarks are never isolated and the hadrons are composed of quarks; what concerns us in this project is the study of one of the most massive leptons: The tau lepton. Decay is the process by means of which a single particle of mass  $m$  is transformed into a number of particles with less masses. The tau lepton is the only one that has enough mass to decay into hadrons. All breakups are due to the weak interaction, and the tau number is conserved. Therefore they include a tau neutrino, but due to the nature of these, they are very difficult to detect, given their weak interaction with matter.

## Palabras Clave

Materia; Leptones; Hadrones; Fermiones; Energía



$$m^2 = P^\mu P_\mu \quad (2)$$

De la ecuación (0):

$$\begin{aligned} |P|_\tau - |P|_1 &= |P|_2 \\ (P_{\tau\mu} - P_{1\mu})(P_\tau^\mu - P_1^\mu) &= P_2^\mu P_{2\mu} \\ m_\tau^2 + m_1^2 - 2P_{\tau\mu}P_1^\mu &= m_2^2 \quad (3) \end{aligned}$$

La parte lineal de la ecuación (3) se puede resolver mediante una matriz con 4 componentes, con el momentum del tau con masa como primer componente y sin vectores x, y, z y el momentum de la partícula 1 con todas sus componentes correspondientes:

$$P_{\tau\mu} = \begin{pmatrix} m_\tau \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad P_1^\mu = \begin{pmatrix} E_1 \\ -P_X \\ -P_Y \\ -P_Z \end{pmatrix}$$

$$P_{\tau\mu}P_1^\mu = m_\tau E_1 \quad (4)$$

Sustituimos (4) en (3):

$$m_\tau^2 + m_1^2 - 2m_\tau E_1 = m_2^2$$

Despejando la energía obtenemos:

$$E_1 = \frac{m_\tau^2 + m_1^2 - m_2^2}{2m_\tau} \quad (5)$$

Para la energía de la partícula 1. Para el caso de la partícula 2 sustituye en la ecuación  $E_1 \rightarrow E_2$  y  $m_1^2 \leftrightarrow m_2^2$

Retomando la ecuación (1) y sustituyendo la ecuación (5) en energía –resolviendo para la partícula 1-:

$$\vec{p} = \sqrt{\left(\frac{m_\tau^2 + m_1^2 - m_2^2}{2m_\tau}\right)^2 + m_1^2}$$

$$\vec{p} = \frac{\sqrt{(m_\tau^2 + m_1^2 - m_2^2)^2 + 4m_\tau^2 m_1^2}}{2m_\tau}$$

Así, después de simplificar nos queda la ecuación del momentum de esta forma:

$$\vec{p} = \frac{[(m_\tau^2 - (m_1 + m_2)^2)(m_\tau^2 - (m_1 - m_2)^2)]^{1/2}}{2m_\tau}$$

## Segundo caso

Uno de los casos que trabajé fue el de un decaimiento del tau en el que interviene un bosón de norma, pero enfocándonos en saber cuál es el rango en el que ésta nueva partícula puede variar dentro de los límites de lo que el modelo estándar propone.

Con ésta primicia, se va a conseguir el valor  $\varepsilon$  que indica la razón del grado de varianza con respecto al modelo estándar.

Con la razón de decaimiento del tau-kaón con la kaón-mión tenemos que [3]:

$$R_{\tau/k} = \frac{\Gamma(\tau \rightarrow K\nu_\tau)}{\Gamma(K \rightarrow \mu\nu)} \quad (10)$$

Ahora, como referencia la probabilidad de decaimiento [4]:

$$\Gamma(\tau \rightarrow K\nu_\tau) = \left(\frac{|\overline{M}|^2}{2 \cdot 2m_\tau}\right) \frac{E_\nu}{4\pi m_\tau}$$

- Donde:  $|\overline{M}|^2$  es el amplitud del proceso

Podemos observar que (10) se simplifica al sustituir las probabilidades de decaimiento correspondientes [3]:

$$R_{\tau/k} = \frac{m_\tau^3}{2m_k m_\mu^2} \frac{\left(1 - \frac{m_k^2}{m_\tau^2}\right)^2}{\left(1 - \frac{m_\mu^2}{m_k^2}\right)^2} (1 + \varepsilon) \quad (11)$$

Y sabemos que [3]:

$$\Gamma(\tau \rightarrow k\nu_\tau) = (2.36 \pm 0.08)x10^{10}s^{-1}$$

$$\Gamma(k \rightarrow \mu\nu) = (0.5118 \pm 0.0018)x10^8s^{-1}$$

Finalmente, para saber los valores entre los que se encuentra  $\varepsilon$  utilizo los valores máximos y mínimos de  $R_{\tau/k}$ :

$$\begin{aligned} \frac{(2.36 - 0.08)x10^{10}s^{-1}}{(0.5118 + 0.0018)x10^8s^{-1}} &\leq R_{\tau/k} \\ &\leq \frac{(2.36 + 0.08)x10^{10}s^{-1}}{(0.5118 - 0.0018)x10^8s^{-1}} \end{aligned}$$

(Nótese que para obtener los valores máximos y mínimos verdaderos se tuvo que restar o sumar el margen de error en su caso)

$$443.925 \leq R_{\tau/k} \leq 478.43 \quad (12)$$

Sustituyendo (11) en (12):

$$443.925 \leq \frac{m_{\tau}^3}{2m_k m_{\mu}^2} \frac{\left(1 - \frac{m_k^2}{m_{\tau}^2}\right)^2}{\left(1 - \frac{m_{\mu}^2}{m_k^2}\right)^2} (1 + \varepsilon) \leq 478.43$$

Y aislando  $\varepsilon$ :

$$\frac{2m_k m_{\mu}^2 (443.925)}{m_{\tau}^3 \left(1 - \frac{m_k^2}{m_{\tau}^2}\right)^2} - 1 \leq \varepsilon \leq \frac{2m_k m_{\mu}^2 (478.43)}{m_{\tau}^3 \left(1 - \frac{m_k^2}{m_{\tau}^2}\right)^2} - 1$$

Resolvemos las ecuaciones con las masas en de la tabla 1:

Masa de la partícula	Escala
1. $m_{\tau}$	$1776.82 \pm 0.16$ MeV
2. $m_k$	$493.677 \pm 0.016$ MeV
3. $m_{\mu}$	$105.6583715 \pm 0.0000035$ MeV

Tabla 1: Masas de las partículas utilizadas para realizar el caso 2. [2]

$$\frac{2(493.677)(105.6583715)^2(443.925)}{(1776.82)^3 \left(1 - \frac{(493.677)^2}{(1776.82)^2}\right)^2} - 1 \leq \varepsilon$$

$$\leq \frac{2(493.677)(105.6583715)^2(478.43)}{(1776.82)^3 \left(1 - \frac{(493.677)^2}{(1776.82)^2}\right)^2} - 1$$

Finalmente:

$$0.024334428 \leq \varepsilon \leq 0.103930604$$

## CONCLUSIONES

Por ser éste el leptón más masivo, que puede decaer en otros cuerpos; da paso a varias formas de decaer, no solamente en decaimientos leptónicos, sino también en decaimientos hadrónicos, pues la masa del tau supera la de algunos hadrones ligeros.

La finalidad de resaltar la importancia de estudiar éste leptón es el énfasis que ha surgido en analizar los decaimientos para observar futuras posibilidades de descubrir nueva física, física que antes no se había pensado.

El caso 2 nos mostró que el modelo estándar funciona bien y no hay mucha variación, no hay alguna indicación de nuevas interacciones por ahora.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Dr. David Yves Ghislain Delepine y al Profesor Gilberto Perea Olmos por su apoyo durante la realización de todo el proyecto, también agradezco a mi familia que me apoyó y motivó para realizar el verano de investigación científica.

Muy especialmente agradezco a la Universidad de Guanajuato, pues hizo posible éste trabajo de investigación mediante la acertada expertise de mis asesores.

## REFERENCIAS

### Libro:

[1] Perl, Martin L. (1992). The Discovery of the Tau Lepton. California.

[2] K.A. Olive et al. (Particle Data Group), Chinese Physics C38, 090001 (2014).

[4] Okun, L. B. (1984). Leptons and Quarks. Amsterdam; Elsevier Science Publishers B.V.

### Artículo:

[3] Delepine, D., Faisal, G., Khalil, S., & Lopez Castro, G. (2006) Supersymmetry and CP Violation in  $|\Delta S| = 1$  tau-decays. Physics Review, 74(2006), pp. 2-8. Doi: 10.1103