

Reconstrucción de la masa transversa del bosón W en el canal de decaimiento muón, muón-neutrino

CMS - OpenData

José Ibáñez, Kevin Platas

Física Experimental de Partículas I
Facultad de Ciencias Físico Matemáticas
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

22 de noviembre de 2021



Contenido

- 1 Antecedentes
- 2 Eventos
- 3 Procedimiento
- 4 Resultados

Antecedentes

Predicción teórica

TEORÍA UNIFICADA DE LA INTERACCIÓN DÉBIL Y ELECTROMAGNÉTICA ENTRE PARTÍCULAS ELEMENTALES.

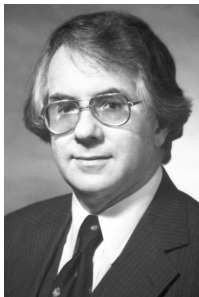


Figura 1: Sheldon Glashow



Figura 2: Steven Weinberg

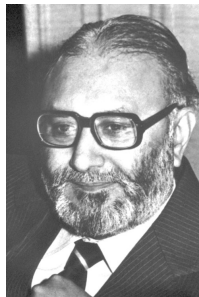


Figura 3: Abdus Salam

(Imágenes vía [The Nobel Prize](#))

Antecedentes

Descubrimiento

EXPERIMENTOS UA1 [1] Y UA2 [2] DEL CERN.



Figura 4: Simon van der Meer



Figura 5: Carlo Rubbia

(Imágenes vía [The Nobel Prize](#))

Antecedentes

Estudio experimental

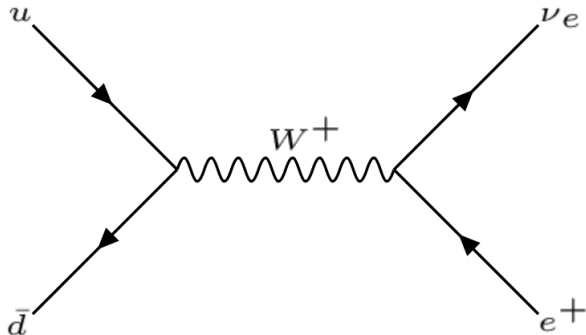


Figura 6: Tipo de producción y decaimiento estudiado por las colisiones $p\bar{p}$ en los experimentos.

Antecedentes

Modos de decaimiento

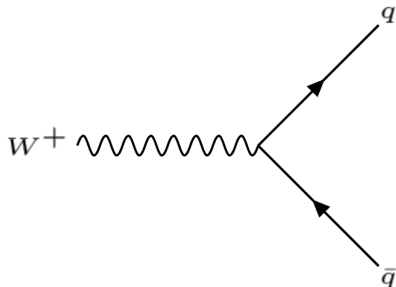


Figura 7: Decaimiento del bosón W^+ en un par quark-antiquark.

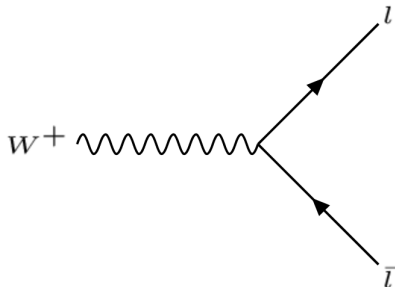


Figura 8: Decaimiento del bosón W^+ en un par leptón-antileptón

Antecedentes

Branching Fractions

$$Br(u\bar{d}) : Br(c\bar{s}) : Br(t\bar{b}) : \\ Br(\nu_e e^+) : Br(\nu_\mu \mu^+) : Br(\nu_\tau \tau^+) \\ = 3 : 3 : 3 : 1 : 1 : 1$$

↓

$$Br(u\bar{d}) : Br(c\bar{s}) : \\ Br(\nu_e e^+) : Br(\nu_\mu \mu^+) : Br(\nu_\tau \tau^+) \\ = 3 : 3 : 1 : 1 : 1$$

↓

$$Br(hadrones) : \\ Br(\nu_e e^+) : Br(\nu_\mu \mu^+) : Br(\nu_\tau \tau^+) \\ = 6 : 1 : 1 : 1$$

$$Br(hadrones) = \frac{2}{3} \approx 66.7 \%$$

$$Br(\nu_e e^+) = \frac{1}{9} \approx 11.1 \%$$

$$Br(\nu_\mu \mu^+) = \frac{1}{9} \approx 11.1 \%$$

$$Br(\nu_\tau \tau^+) = \frac{1}{9} \approx 11.1 \%$$

[3]

Antecedentes

Propiedades

Tipo	Predicción teórica	Medición experimental
Hadrones	$\sim 66.7 \%$	$(67.41 \pm 0.27) \%$
$e^+ \nu_e$	$\sim 11.1 \%$	$(10.71 \pm 0.16) \%$
$\mu^+ \nu_\mu$	$\sim 11.1 \%$	$(10.63 \pm 0.15) \%$
$\tau^+ \nu_\tau$	$\sim 11.1 \%$	$(11.38 \pm 0.21) \%$

Tabla 1: Información del Particle Data Group [3]

Propiedad	Valor promedio
Masa	$80.379 \pm 0.012 \text{ GeV}$
Radio de masa W/Z	0.88147 ± 0.00013
Diferencia de masa ($W^+ - W^-$)	$-0.029 \pm 0.028 \text{ GeV}$
Anchura	$2.085 \pm 0.042 \text{ GeV}$

Tabla 2: Información del Particle Data Group [3]

Antecedentes

Mediciones actuales para la masa transversa

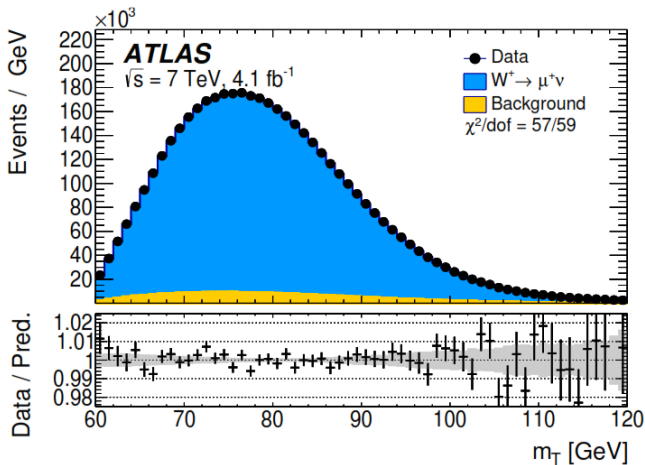


Figura 9: Masa transversa de W^+ en el canal de decaimiento $\mu^+ \nu$ [4]

Eventos

Sample 5

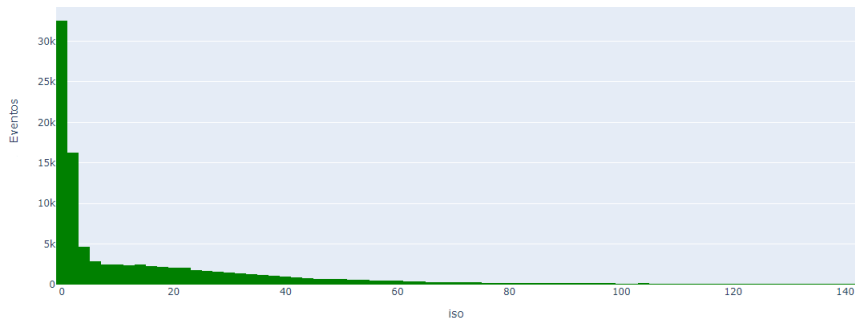
```
import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import plotly.express as px
```

	Run	Event	pt	eta	phi	Q	chiSq	dxy	iso	MET	phiMET
0	173389	489963747	29.3153	-0.1393	1.3561	1	0.8456	-0.0600	0.0000	30.6670	-2.1308
1	173389	490024840	44.1461	-1.3590	-0.5390	1	1.2943	-0.0126	26.3423	27.9521	-2.6686
2	173389	490102189	42.7895	-1.0193	2.3390	-1	0.8078	-0.0840	2.9748	5.1565	0.3061
3	173389	490092121	31.2215	-0.1270	-0.4889	-1	109.9490	0.0723	56.4897	4.2143	-0.1166
4	173389	490193981	36.9668	1.8557	1.3772	1	1.0597	-0.0676	41.4910	20.9963	-1.6251
...
99995	171369	55073997	89.2292	1.1032	0.7624	-1	0.5443	-0.0168	0.2016	19.2938	2.3639
99996	171369	55221533	37.6914	-1.3926	-0.6669	-1	0.6061	0.0832	0.5965	7.5065	2.1850
99997	171369	55273989	31.2467	-0.1335	0.3830	-1	0.8857	0.0592	23.6527	23.0953	-3.1020
99998	171369	55354925	42.7469	-0.3049	-0.5734	-1	1.4464	0.0818	24.3723	16.4557	2.1887
99999	171369	55346997	36.4015	2.0057	2.0813	1	1.3507	-0.0880	0.5617	48.3986	-1.2394

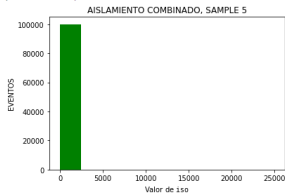
100000 rows × 11 columns

Eventos

Aislamiento combinado total

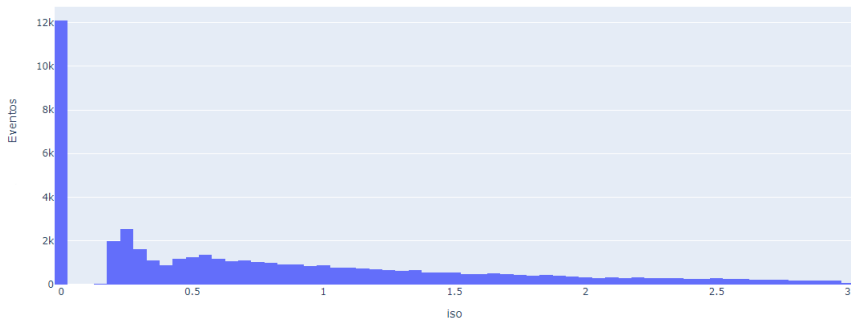


(0.0, 24918.3)

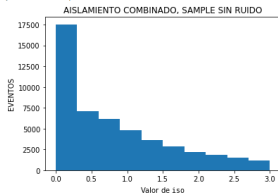


Eventos

Datos útiles ($\text{iso} < 3$)



(0.0, 2.9998)



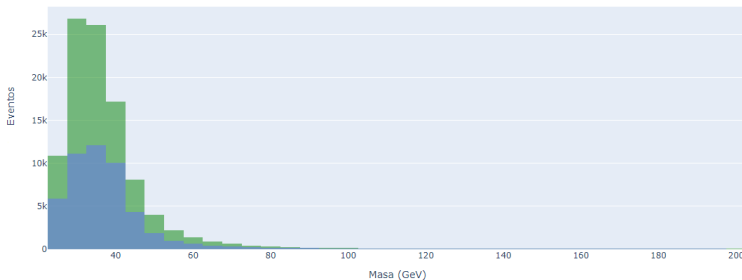
Eventos

Nivel de aceptación

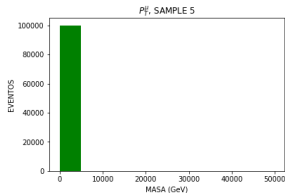
$$\begin{aligned}
 \text{Acceptance} &= \frac{\text{Número de datos después del corte}}{\text{Número de datos antes del corte}} \\
 &= \frac{48,773}{100,000} \\
 &= 0.48773 \\
 &= 48.773\% \text{ de los datos del Sample 5 se definieron como útiles.}
 \end{aligned}$$

Eventos

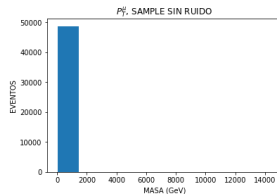
Momento transverso del muon



(25.0001, 49712.4)

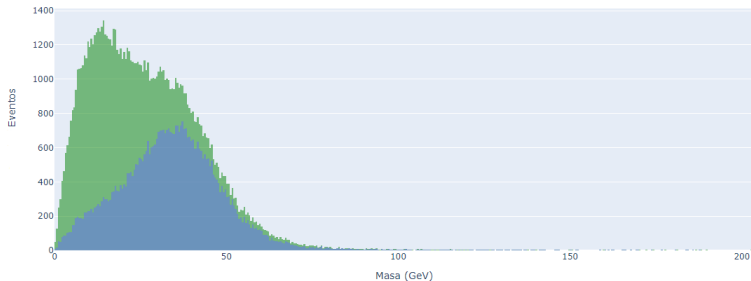


(25.0005, 14440.2)

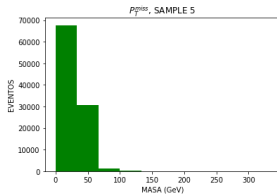


Eventos

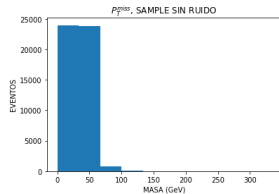
Momento transverso del neutrino



(0.0345, 332.55)

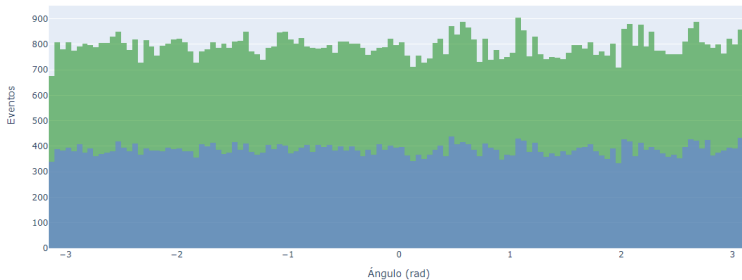


(0.3188, 332.55)

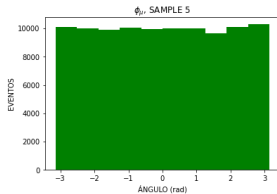


Eventos

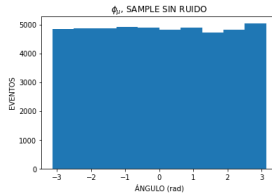
Ángulo respecto al eje $x > 0$ del muon



(-3.1413, 3.1416)

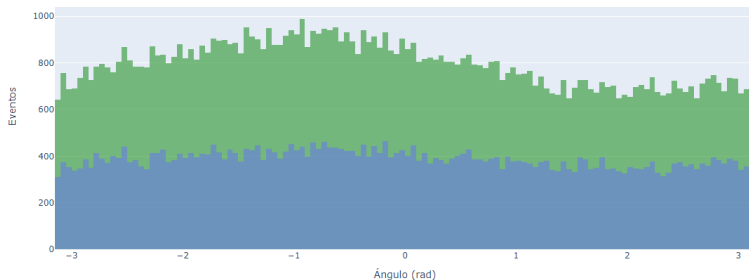


(-3.1413, 3.1416)

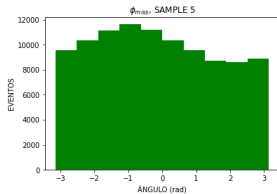


Eventos

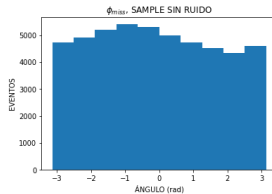
Ángulo respecto al eje $x > 0$ del neutrino



(-3.1413, 3.1414)



(-3.1412, 3.1411)



Procedimiento

Definiciones

Primera definición

La masa invariante de un sistema formado por dos partículas sin masa, cuyos momentos forman un ángulo θ tiene una expresión:

$$M^2 = 2P_1P_2(1 - \cos \theta)$$

Segunda definición

Para partículas sin masa, $m_1 = m_2 = 0$, tenemos que $E_T = P_T$ y la masa transversa de un sistema de dos partículas se reduce a:

$$M_T^2 = 2E_{T1}E_{T2}(1 - \cos \theta)$$

Donde θ es el ángulo entre las partículas sobre el plano transverso.

Notamos que el llamado ángulo θ no es más que el ángulo $\Delta\phi$ con el que ya estamos familiarizados.

Procedimiento

Definiciones

$$\text{Variables} = \begin{cases} \text{pt} & \rightarrow P_T^\mu \\ \text{MET} & \rightarrow P_T^{\text{miss}} \\ \text{phi} & \rightarrow \phi_\mu \\ \text{phiMET} & \rightarrow \phi_{\text{miss}} \end{cases}$$

Definición	Muon	Neutrino
Coordenadas polares	$\vec{P}_T^\mu = (P_T^\mu, \phi_\mu)$	$\vec{P}_T^{\text{miss}} = (P_T^{\text{miss}}, \phi_{\text{miss}})$
Coordenadas cartesianas	$\vec{P}_T^\mu = (P_x^\mu, P_y^\mu)$	$\vec{P}_T^{\text{miss}} = (P_x^{\text{miss}}, P_y^{\text{miss}})$
Módulo	$P_T^\mu = \sqrt{P_x^{\mu 2} + P_y^{\mu 2}}$	$P_T^{\text{miss}} = \sqrt{P_x^{\text{miss} 2} + P_y^{\text{miss} 2}}$

Relación entre coordenadas polares y cartesianas:

$$P_x^\mu = P_T^\mu \cos \phi_\mu$$

$$P_y^\mu = P_T^\mu \sin \phi_\mu$$

$$P_x^{\text{miss}} = P_T^{\text{miss}} \cos \phi_{\text{miss}}$$

$$P_y^{\text{miss}} = P_T^{\text{miss}} \sin \phi_{\text{miss}}$$

Procedimiento

Ecuaciones

La distancia c entre los puntos (P_x^μ, P_y^μ) y (P_x^{miss}, P_y^{miss}) está dada por:

$$\begin{aligned}
 c^2 &= (P_x^\mu - P_x^{miss})^2 + (P_y^\mu - P_y^{miss})^2 \\
 &= P_x^{\mu 2} - 2P_x^\mu P_x^{miss} + P_x^{miss 2} + P_y^{\mu 2} - 2P_y^\mu P_y^{miss} + P_y^{miss 2} \\
 &= (P_x^{\mu 2} + P_y^{\mu 2}) + (P_x^{miss 2} + P_y^{miss 2}) - 2(P_x^\mu P_x^{miss} + P_y^\mu P_y^{miss}) \\
 &= P_T^{\mu 2} + P_T^{miss 2} - 2(P_x^\mu P_x^{miss} + P_y^\mu P_y^{miss})
 \end{aligned}$$

Por el Teorema del coseno, sabemos que:

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \theta$$

Donde el lado c es aquel opuesto al ángulo θ , justo lo que buscamos. Los lados a y b son nuestros vectores de momento, por lo que sustituyendo obtenemos:

$$\begin{aligned}
 P_T^{\mu 2} + P_T^{miss 2} - 2(P_x^\mu P_x^{miss} + P_y^\mu P_y^{miss}) &= P_T^{\mu 2} + P_T^{miss 2} - 2P_T^\mu P_T^{miss} \cos(\Delta\phi) \\
 -2(P_x^\mu P_x^{miss} + P_y^\mu P_y^{miss}) &= -2P_T^\mu P_T^{miss} \cos(\Delta\phi)
 \end{aligned}$$

Procedimiento

Ecuaciones

$$P_x^\mu P_x^{miss} + P_y^\mu P_y^{miss} = P_T^\mu P_T^{miss} \cos(\Delta\phi)$$

De esta expresión, no tenemos los valores explícitos de P_x^μ , P_y^μ , P_x^{miss} y P_y^{miss} , pero con la relación entre coordenadas cartesianas y polares podemos reescribir la expresión como:

$$\begin{aligned} (P_T^\mu \cos \phi_\mu) (P_T^{miss} \cos \phi_{miss}) + (P_T^\mu \sin \phi_\mu) (P_T^{miss} \sin \phi_{miss}) &= P_T^\mu P_T^{miss} \cos(\Delta\phi) \\ P_T^\mu P_T^{miss} (\cos \phi_\mu \cos \phi_{miss} + \sin \phi_\mu \sin \phi_{miss}) &= P_T^\mu P_T^{miss} \cos(\Delta\phi) \\ \cos \phi_\mu \cos \phi_{miss} + \sin \phi_\mu \sin \phi_{miss} &= \cos(\Delta\phi) \end{aligned}$$

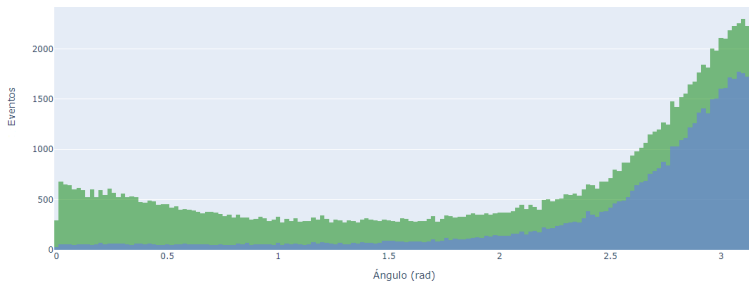
Y obtenemos una ecuación para el ángulo entre P_T^μ y P_T^{miss} totalmente expresada en términos conocidos. Nuestras expresiones finales son:

$$\cos(\Delta\phi) = \cos \phi_\mu \cos \phi_{miss} + \sin \phi_\mu \sin \phi_{miss} \quad (1)$$

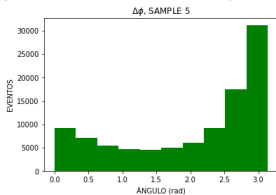
$$\Delta\phi = \arccos(\cos \phi_\mu \cos \phi_{miss} + \sin \phi_\mu \sin \phi_{miss}) \quad (2)$$

Procedimiento

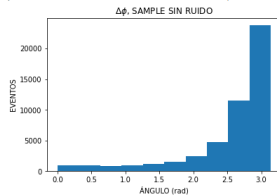
Ángulo entre P_T^μ y P_T^{miss}



(0.00019999999972558624, 3.141585307196424)

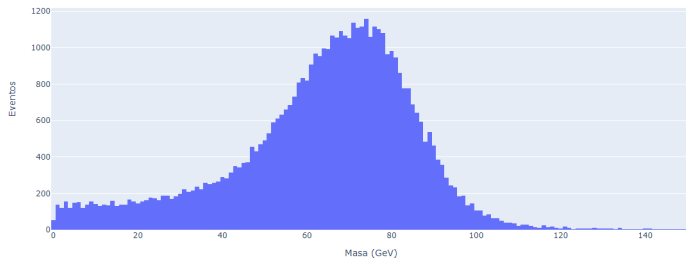
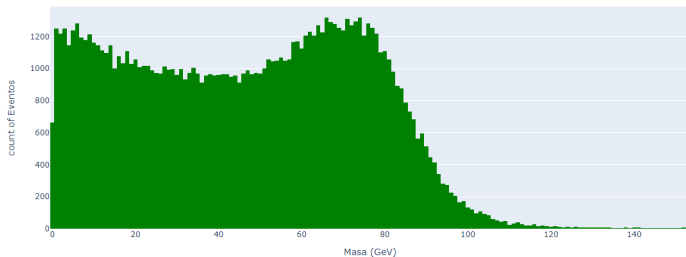


(0.0004000000000633937, 3.141585307196424)



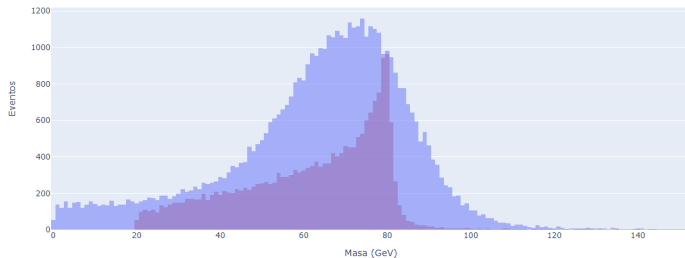
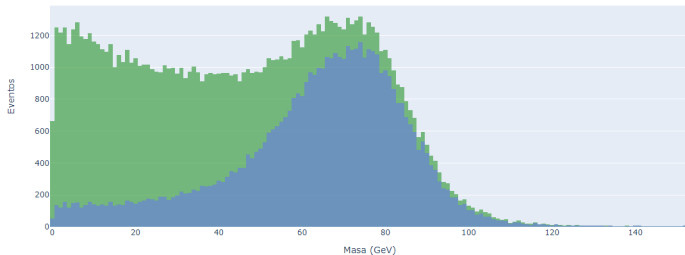
Resultados

Masas transversas



Resultados

Comparativas



Referencias personales

Google Colaboratory - GitHub

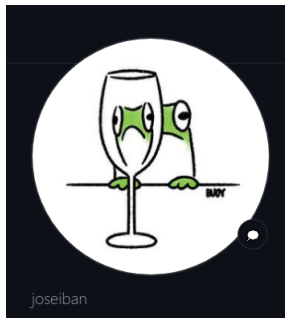


Figura 10: github.com/joseiban



Figura 11: github.com/KevPlatas

Agradecimientos

Charged pion: *26 nanosecond decay*

Tau lepton: *0.29 picosecond decay*





W boson: *0.0000001 attosecond decay*

Proton:



(Imagen vía [Reddit](#))

Referencias

-  G. Arnison, A. Astbury, B. Aubert, C. Bacci, G. Bauer, A. Bezaguet, R. Böck, T. Bowcock, M. Calvetti, T. Carroll *et al.*, “Experimental observation of isolated large transverse energy electrons with associated missing energy at $\sqrt{s} = 540$ GeV,” *Physics letters B*, vol. 122, no. 1, pp. 103–116, 1983.
-  M. Banner, R. Battiston, P. Bloch, F. Bonaudi, K. Borer, M. Borghini, J.-C. Chollet, A. Clark, C. Conta, P. Darriulat *et al.*, “Observation of single isolated electrons of high transverse momentum in events with missing transverse energy at the CERN $\bar{p}p$ collider,” *Physics Letters B*, vol. 122, no. 5-6, pp. 476–485, 1983.
-  P. A. Zyla, (Particle Data Group) *et al.*, “Review of particle physics,” *Progress of Theoretical and Experimental Physics*, vol. 2020, no. 8, p. 083C01, 2020.
-  The ATLAS Collaboration, “Measurement of the w -boson mass in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ tev with the atlas detector,” *arXiv preprint arXiv:1701.07240*, 2017.