

# Una breve historia de la física de partículas.



Eduardo Rojas  
Universidad de Nariño

4th Colombian Workshop on flavor physics

Ibagué, Tolima.

# Cosmología babilónica

- Hace más de 4000 años, los babilonios fueron los primeros en reconocer que los fenómenos astronómicos son periódicos y pudieron aplicar las matemáticas para predecir los movimientos aparentes de la luna y las estrellas y los planetas y el sol en el cielo, e incluso pudieron predecir eclipses.
- La gente de la antigua Babilonia usaba la geometría para calcular la posición de Júpiter unos 1.400 años antes de lo que se pensaba.

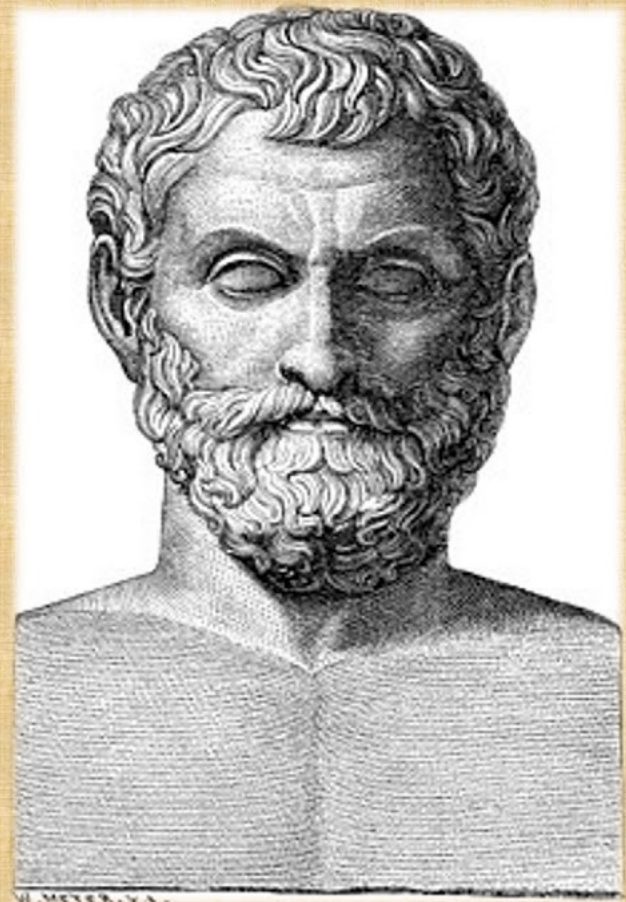
# Tablilla babilonica con el registro del cometa Halley.



# Herederos de Tales

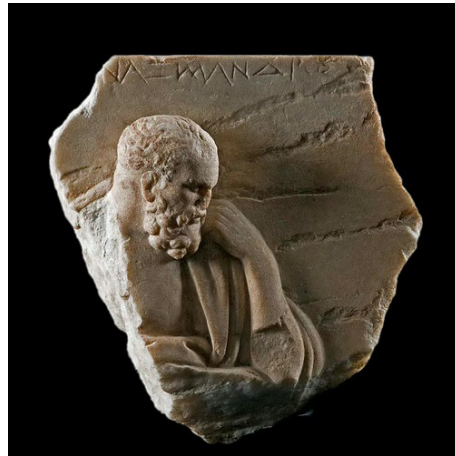
## Thales of Miletus:

- Lived from c.624 – c. 545 B.C.
- Called the real first philosopher by Aristotle and cited as one of the Seven Wise Men in “Protagoras” by Plato.
- He left behind no surviving body of works and his views are known through only later reports.
- He was a Pre-Socratic philosopher who was also an engineer, a mathematician, an astronomer, and a statesman.
- He traveled to Egypt to study mathematics and used Babylonian celestial charts to accurately predict a solar eclipse in 585 B.C.
- He believed that the world had an underlying unity in the form of a physical substance that can be studied – water. He theorized that water was the foundation of the universe due to it being able to change its state of matter and that the Earth floated on water.
- Thales’s theorem: if A, B, and C are distinct points on a circle where the line AC is a diameter, then the angle ABC is a right angle.



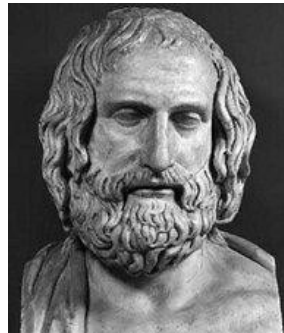
# Cosmología de Anaximandro ( 610 - 546 BCE)

- Para Anaximandro, la Tierra tiene forma de cilindro o tambor. Pero el concepto revolucionario que expuso por vez primera fue el presentar a nuestro planeta como un cuerpo finito que flota en equilibrio sobre el espacio; es decir, tanto por encima como por debajo de la Tierra hay cielo.



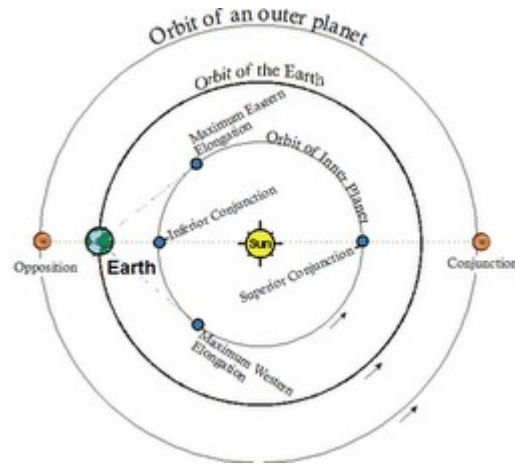
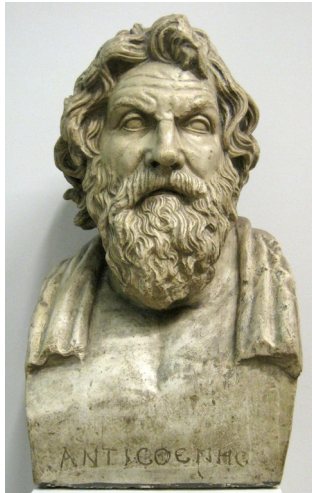
# Anaxágoras (500-428 a.c)

- Para explicar la pluralidad de objetos en el mundo dotados de cualidades diferentes, recurre a la suposición de que todas las cosas estarían formadas por partículas elementales, que llama con el nombre de "semillas" (spermata, en griego). Más tarde Aristóteles llama a estas partículas con el nombre de homeomerías (partes semejantes).



# Aristarco de Samos (310 – 230 AC)

- La Tierra gira a diario sobre su eje y gira anualmente alrededor del sol en una órbita circular. La esfera de estrellas fijas se centra alrededor del sol.



# Giordano Bruno, de nacimiento Filippo Bruno (1548-1600), fue

- Sus teorías cosmológicas superaron el modelo copernicano, pues propuso que el Sol era simplemente una estrella y que el universo debía contener un infinito número de mundos habitados por animales y seres inteligentes.



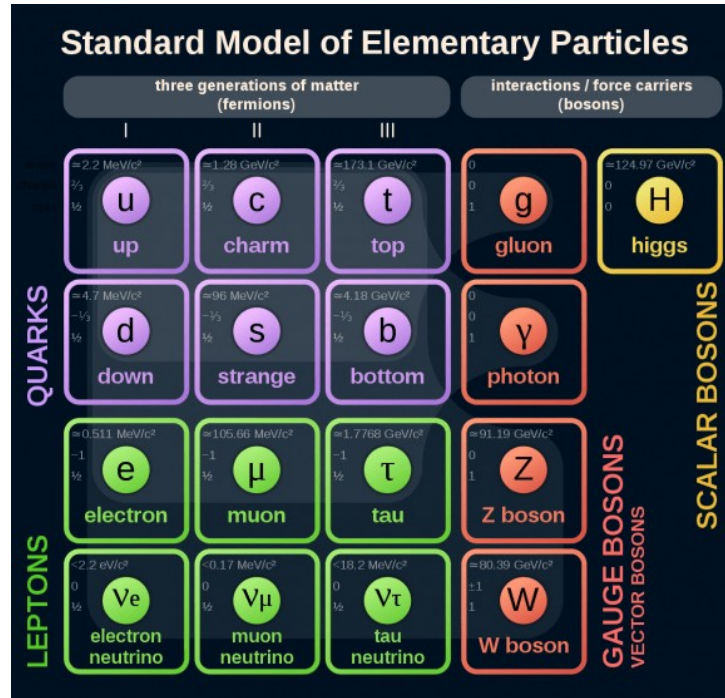


# Multiverso

- Escuela Bhagavata Purana (800-100), Fakhr al-Din al-Razi (1150-120),
- 



# Modelo estandar de partículas Elementales



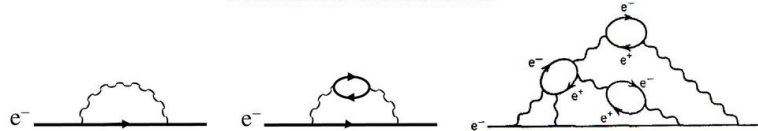
# Ideas fundamentales del modelo estándar, QFT.

- El marco teórico es la teoría cuántica de campos que combina la relatividad especial y la mecánica cuántica.
- 1926 Born, Heisenberg and Jordan desarrollan el formalismo de la cuantización de los campos, al tratar de cuantizar el campo electromagnético.
- Three level QED, Dirac 1927.
- Modelo de Fermi para las interacciones débiles 1934.

# Teorías cuánticas de Campos, renormalización de la QED.

- Se consiguieron resultados para el momento magnético anómalo del electrón mediante la renormalización de los campos cuánticos. Schinger, Feynman, Tomonaga.

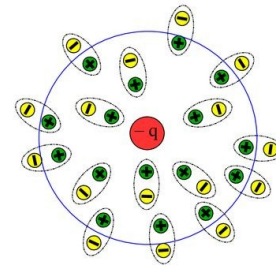
## Vacuum Polarization



Thus, we never actually ever see a "bare" charge, only an effective charge shielded by polarized virtual electron/positron pairs. A larger charge (or, equivalently,  $\alpha$ ) will be seen in interactions involving a high momentum transfer as they probe closer to the central charge.

⇒ "running coupling constant"

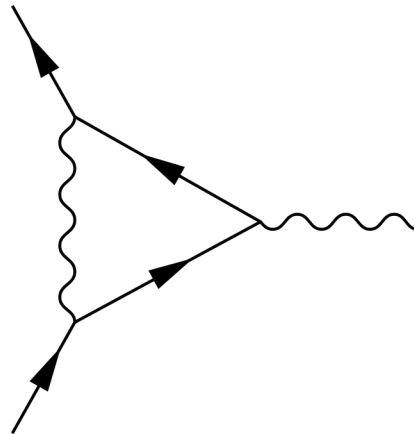
In QED, the bare charge of an electron is actually infinite !!!



Note: due to the field-energy near an infinite charge, the bare mass of the electron ( $E=mc^2$ ) is also infinite, but the effective mass is brought back into line by the virtual pairs again !!

- Momento magnético anómalo del electron.

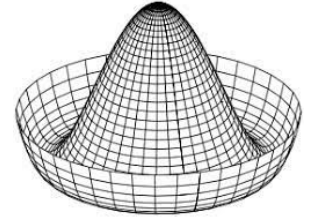
- Valor experimental: 0.00115965218073(28)
- Valor teórico : 0.001159652181643(764)



# Invarianza Gauge.

- Weyl, Vladimir Fock y Fritz London modificaron el gauge reemplazando el factor de escala con una cantidad compleja y convirtieron la transformación de escala en un cambio de fase, que es una simetría de calibre  $U(1)$ .
- A principios de 1954, Yang y Mills ampliaron el concepto de teoría de gauge para los grupos abelianos, p. Ej. electrodinámica cuántica, a grupos no abelianos para proporcionar una explicación de interacciones fuertes.

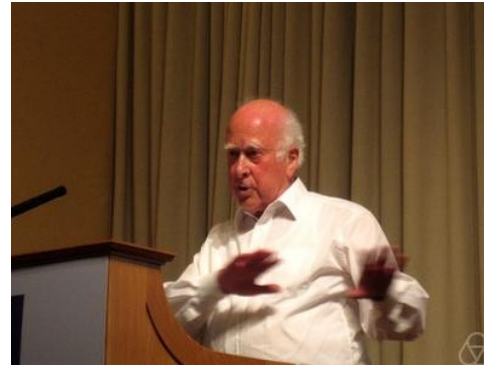
# Rompimiento espontáneo de la simetría



- La idea de Yang-Mills fue criticada por Pauli, ya que los cuantos del campo Yang-Mills deben carecer de masa para mantener la invariancia gauge.
- La idea se dejó de lado hasta 1960, cuando el concepto de partículas que adquieren masa a través de la ruptura de simetría en teorías sin masa fue propuesto inicialmente por Jeffrey Goldstone, Yoichiro Nambu y Giovanni Jona-Lasinio. Los bosones vectoriales adquieren masa pero la simetría se sigue conservando.

# Mecanismo de Higgs

- Tom Kibble, Gerald Guralnik, Carl Richard Hagen, François Englert, Robert Brout and Peter Higgs.





# Milagros del mecanismo.

- Resuelve el problema de la no observación del bosón de goldstone
- Resuelve el problema de unitariedad de la teoría de fermi.
- Da masas a los fermiones y a los bosones vectoriales sin romper la simetría. (En la ruptura espontánea las corrientes se siguen conservando, y las identidades de Ward se mantienen).

# No conservación de la paridad

- In 1927, Eugene Wigner formalized the principle of the conservation of parity P



## • $\tau - \theta$ . Puzzle

- Este principio fue ampliamente aceptado por los físicos, y la conservación de  $P$  se verificó experimentalmente en las interacciones electromagnéticas y fuertes. Sin embargo, a mediados de la década de 1950, ciertas desintegraciones relacionadas con los kaones no podían explicarse con las teorías existentes en las que se suponía que la conservación de  $P$  era cierta. Parecía haber dos tipos de kaones, uno que se descomponía en dos piones y el otro que se descomponía en tres piones. Esto se conocía como el rompecabezas  $\tau - \theta$ .

- Los físicos teóricos Tsung-Dao Lee y Chen-Ning Yang hicieron una revisión de la literatura sobre la cuestión de la conservación de la paridad en todas las interacciones fundamentales. Llegaron a la conclusión de que en el caso de la interacción débil, los datos experimentales no confirmaron ni refutaron la conservación de P



# Un experimento crucial.



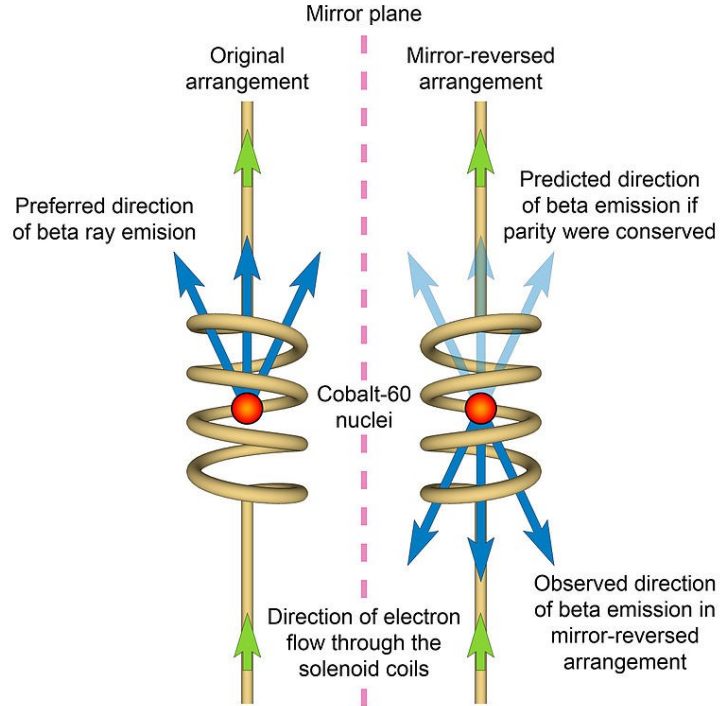
- Chien-Shiung Wu, experta en espectroscopia de desintegración beta, con varias ideas para experimentos. Se decidieron por la idea de probar las propiedades direccionales de la desintegración beta en el cobalto-60. Wu se dio cuenta del potencial de un experimento revolucionario y comenzó a trabajar en serio a fines de mayo de 1956, cancelando un viaje planeado a Ginebra y el Lejano Oriente con su esposo, con el deseo de vencer al resto de la comunidad de la física. La mayoría de los físicos, como el amigo íntimo Wolfgang Pauli, pensaban que era imposible

# Violación de Paridad.

- Wu se puso en contacto con Ernest Ambler, de la Oficina Nacional de Normas, quien dispuso que el experimento se llevara a cabo en 1956 en los laboratorios de baja temperatura de la NBS. [4] Después de varios meses de trabajo para superar las dificultades técnicas, el equipo de Wu observó una asimetría que indica una violación de la paridad en diciembre de 1956

-

# Los rayos beta deben emitirse en ambas direcciones si P es simetría



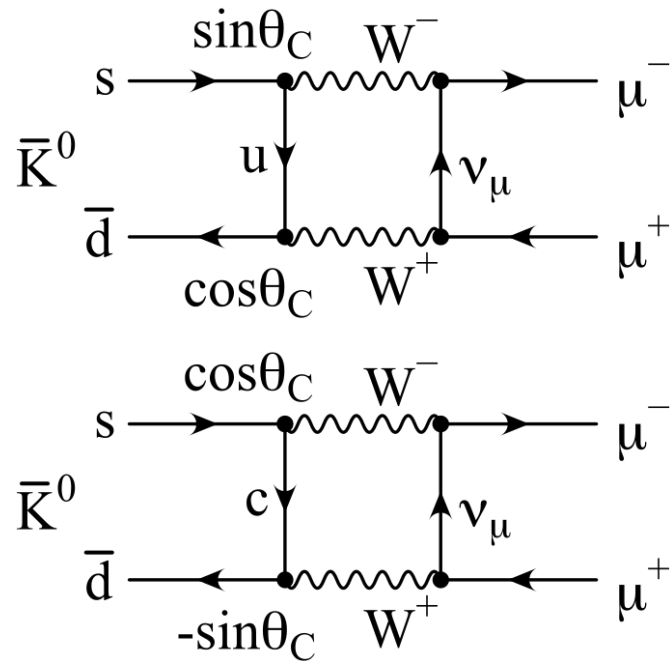
# A model of leptons $SU(2)_L \times U(1)_Y$ .

- Weinberg, Salam y Glashow





# Mecanismo de GIM-Glashow-Iliopoulos-Maiani



- La no observación del proceso  $K^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$  implicó la existencia de un nuevo quark.  $V_{su} V_{ud}^\dagger + V_{sc} V_{cd}^\dagger = \delta_{sd} = 0$

# El problema de la renormalización.

literature

3 results

**Spontaneous breakdown of weak and electromagnetic interaction symmetry**  
[J. Schechter](#) (Syracuse U.), [Y. Ueda](#) (Syracuse U.) (1970)  
Published in: *Phys.Rev.D* 2 (1970) 736-742

**Lepton symmetry and selfmass**  
[J. Pestieau](#) (Cornell U., LNS), [P. Roy](#) (Cornell U., LNS) (1969)  
Published in: *Phys.Rev.Lett.* 23 (1969) 349-351

**Weak and Electromagnetic Interactions**  
[Abdus Salam](#) (Imperial Coll., London and ICTP, Trieste) (May, 1968)  
Published in: *Conf.Proc.C* 680519 (1968) 367-377, Reprinted in \*Lichtenberg, D. B. (ed.), Rosen, S. P. (ed.): Developments In The Quark Theory Of Hadrons, Vol. 1\*, 160-170, and in \*Lai, C. H. (ed.): Gauge Theory Of Weak and Electromagnetic Interactions\*, 188-198, Also in \*Rosner, J.L. (ed.): New particles\* 29-39, Also in \*Ali, A. (ed.) et al.: Selected papers of Abdus Salam\* 244-254 • Contribution to: [8th Nobel Symposium](#), 367-377

# El artículo clave.

## Renormalizable Lagrangians for Massive Yang-Mills Fields

[Gerard 't Hooft \(Utrecht U.\)](#) (1971)

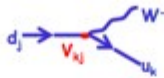
Published in: *Nucl.Phys.B* 35 (1971) 167-188, Also in \*Lichtenberg, D. B. ( Ed.), Rosen, S. P. ( Ed.): Developments In The Quark Theory Of Hadrons, Vol. 1\*, 171-192, and in \*Lai, C.H. (ed.) Gauge Theory of Weak and Electromagnetic Interactions\*, 300-321,

 DOI  cite


 1,962 citations

# El último elemento del modelo.


- La matriz de Cabibbo-Kobayashi-Maskawa.

**CKM matrix** 

$$\begin{pmatrix} d' \\ s' \\ b' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d \\ s \\ b \end{pmatrix}$$



$$\begin{pmatrix} 1-\lambda^2/2 & \lambda & A\lambda^3(\rho-i\eta) \\ -\lambda & 1-\lambda^2/2 & A\lambda^2 \\ A\lambda^3(1-\rho-i\eta) & -A\lambda^2 & 1 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{array}{c} \phi_2(\alpha) \\ V_{ud}V_{ub}^* \\ \phi_1(\gamma) \\ V_{cd}V_{cb}^* \\ \phi_1(\beta) \end{array}$$



# El Gran Colisionador de Hadrones.



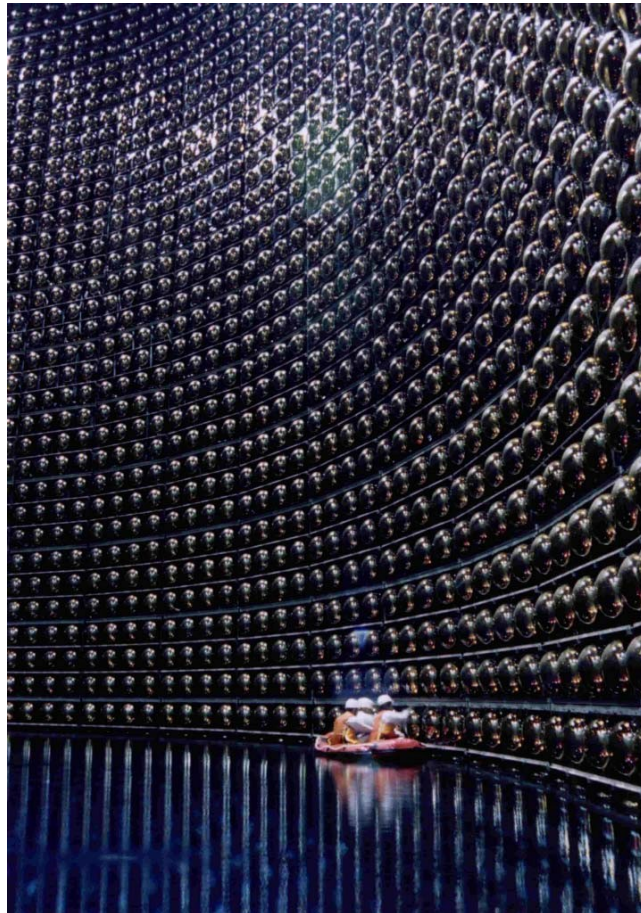
# Problemas del Modelo estándar

- Gravedad. El Modelo Estándar no proporciona una explicación para la gravedad. Además es incompatible con la teoría de la gravedad de más éxito hasta la fecha, la relatividad general.
- Materia oscura y energía oscura. Las observaciones del Cosmos nos dicen que el Modelo Estándar sirve para explicar solamente el 4% de la energía presente en el universo. Sobre el 96% que falta, aproximadamente un 24% debe ser materia oscura, es decir, materia que se comporta como la materia que conocemos, pero que apenas interactúa con los campos del Modelo Estándar. El resto debería ser energía oscura, una densidad de energía constante para el vacío. Los intentos de explicar la energía oscura en términos de la energía del vacío del Modelo Estándar llevan a un error de 120 órdenes de magnitud.<sup>3</sup>

# Problemas del modelo estándar

- Masa de los neutrinos. De acuerdo con el Modelo Estándar los neutrinos son partículas sin masa. Sin embargo, los experimentos de las oscilaciones de neutrinos han demostrado que los neutrinos sí tienen masa. Los términos de masa para los neutrinos se pueden añadir a mano al Modelo Estándar, pero esto conduce a nuevos problemas teóricos. (Por ejemplo, los términos de masa deben ser extraordinariamente pequeños).

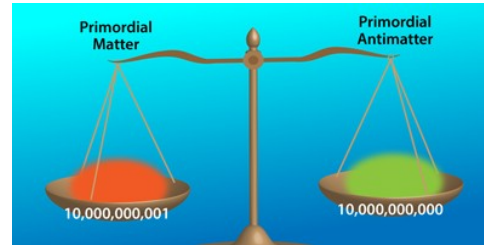
super kamiokande 50000-  
Toneladas de agua!!!.



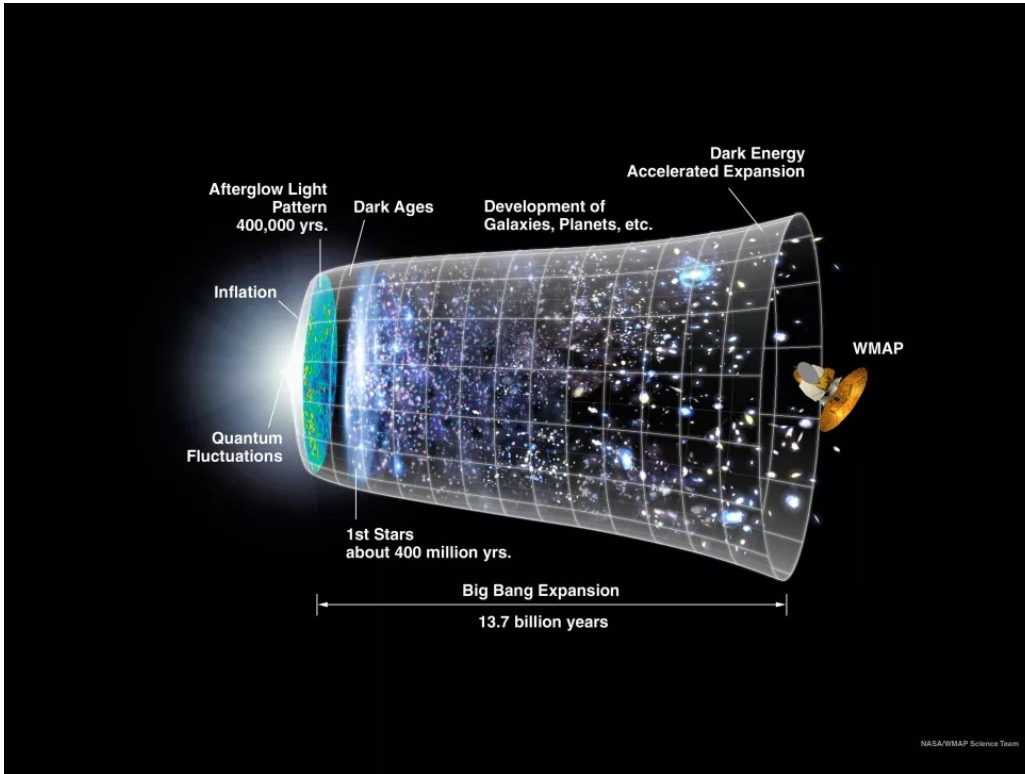


# Problemas del modelo estándar

- Asimetría de la materia–antimateria. La mayoría del universo está hecho de materia. Sin embargo, el Modelo Estándar predice que la materia y la antimateria deben haber sido creadas en (casi) iguales cantidades, las cuales se hubieran aniquilado unas a otras durante el enfriamiento del universo.



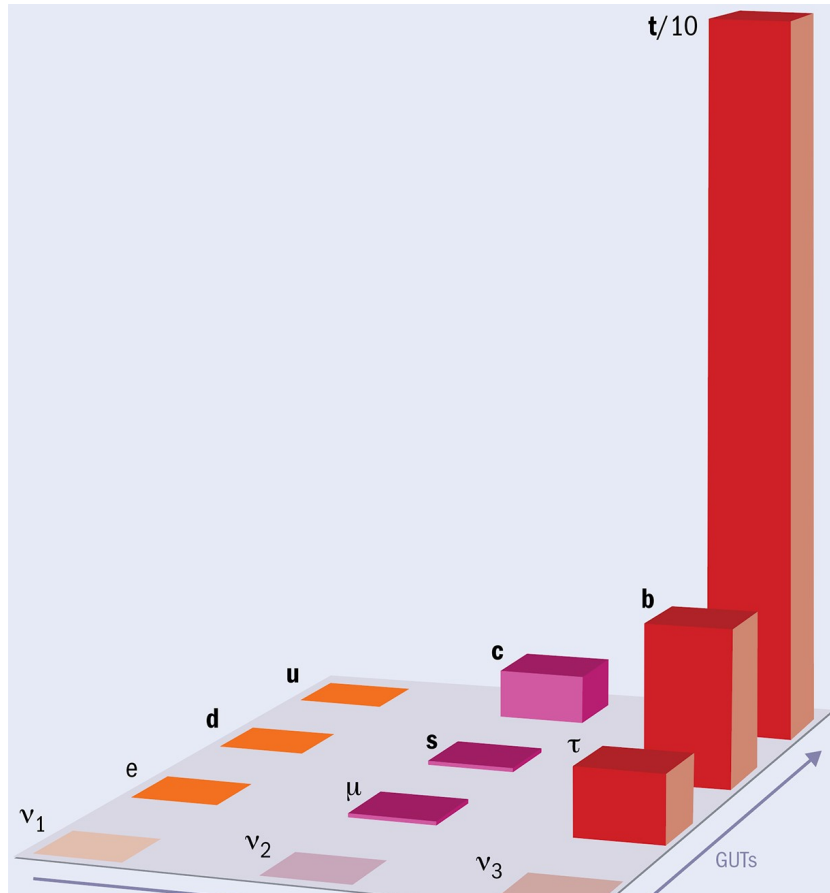
# Asimetría materia-antimateria en el universo temprano



# Problemas teóricos.

- Problema de jerarquía de masas, 13 órdenes de magnitud
- Problema de CP fuerte
- Número de parámetros.

# Problema de la jerarquía de masas de los fermiones del SM.



# ¿Que hay en el horizonte de la física teórica?.

- Teorema de Coleman-Mandula nos dice que no podemos aumentar las simetrías externas.
- Supersimetría-espacio de Poincaré extendido-problema de la constante cosmológica, candidatos a materia oscura, y problemas de ajuste fino en la renormalización.
- Unificación-extensiones de las simetrías internas-  
-posiblemente relacionado con la cuantización de la carga -candidatos a materia oscura - explica los valores de las constantes de acoplamiento.
- Dimensiones extras-Permiten obtener la QED y la Gravedad en una teoría Unificada.
- Teorías de cuerdas-Resuelve el problema de las anomalías de la Gravedad-
- Loop quantum Gravity- Es un ejemplo de una cuantización de La gravedad cuántica, pero hasta el momento, sin mayores implicaciones.

# LHC



# Últimas publicaciones.

Actividades Google Chrome 8 de nov 08:29

(2) Whats x Festival n x Inbox (3) x Wu exper x Chien-Shi x Narino U. x Eduardo x Narino U. x

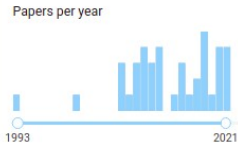
inspirehep.net/institutions/906628

Welcome to the new INSPIRE! Learn more. Take the survey

INSPIRE HEP institutions

Help Submit Login

Papers per year



Number of authors

- Single author 3
- 10 authors or less 39

Document Type

- article 31
- published 27
- conference paper 10

Collaboration

- LAGO 2

Subject

- Phenomenology-HEP 26

41 results | cite all

Most Recent

**Systematic study of the  $SU(3)_C \otimes SU(3)_L \otimes U(1)_X$  local gauge symmetry** #1  
Richard H. Benavides (Inst. Tech. Metro., Medellín), Yithsbey Giraldo (Narino U.), Luis Muñoz (Inst. Tech. Metro., Medellín), William A. Ponce (Antioquia U.), Eduardo Rojas (Narino U.) (Nov 3, 2021)  
e-Print: 2111.02563 [hep-ph]  
pdf cite 0 citations

**The impact of transverse Slavnov-Taylor identities on dynamical chiral symmetry breaking** #2  
Luis Albino (Sao Paulo, IFT), Adnan Bashir (IFM-UMSNH, Michoacan), Bruno El-Bennich (Cruzeiro do Sul U.), Eduardo Rojas (Narino U.), Fernando E. Serna (Sao Paulo, IFT and UNICID, Sao Paulo) et al. (Aug 12, 2021)  
e-Print: 2108.06204 [nucl-th]  
pdf cite 1 citation

**Campos clásicos no plano nulo** #3  
O.A. Acevedo (Sao Paulo U., Guaratingueta), K.P. Gallo (Sao Paulo U., Guaratingueta), B.M. Pimentel (Sao Paulo U., Guaratingueta), G.E.R. Zambrano (Narino U.) (Aug 9, 2021)  
Published in: *Rev.Bras.Ens.Fis.* 43 (2021) e20210200  
pdf DOI cite 0 citations

**Extra gauge bosons and lepton flavor universality violation in  $\Upsilon$  and  $B$  meson decays** #4  
Cristian H. García-Duque (U. Quindío), J.H. Muñoz (Tolima U.), Néstor Quiñero (Santiago de Cali U. and Tolima U.), Eduardo Rojas (Narino U.) (Feb 27, 2021)  
Published in: *Phys.Rev.D* 103 (2021) 7, 073003 - e-Print: 2103.00344 [hep-ph]  
pdf DOI cite 1 citation

Mostrar todo x