

FISICA DE LAS INTERACCIONES FUNDAMENTALES

1ER CUATRIMESTRE 2026

CLASE 1

RODOLFO SASSOT

CLASE 1: Atomos, partículas, galaxias.

objetivo: update/upgrade E4, incorporando temas de astrofísica, cosmología y gravedad

*E4 nació como Física Nuclear (1956), qué pasa dentro de un núcleo? aplicaciones y tecnología nuclear
pensar las partículas como excitaciones del vacío
pensar las interacciones como forma imponer una simetría
pensar la masa como otra resultado de otra interacción más*

*se transmutó en E4 (1987) para darle lugar a las partículas y las interacciones fundamentales
con la elementariedad (aceleradores) no alcanza*

se transmuta en FIF (2026) para incorporar cosmología de precisión, universo a gran escala (gravitación)

década del 90: radioactividad, electrones

década del 00: relatividad especial

década del 10: núcleo, cuantización, relatividad general

década del 30: cuántica relativista, física nuclear, expansión

década del 40: WWII

década del 50: explosión tecnológica/recursos

década del 60: simetrías en partículas, interacciones, CMB

década del 70&80: paradigma del SM

década del 90: confirmación del SM, dark universe

década del 2000: búsqueda del Higgs y BSM

década del 2010: descubrimiento Higgs, y?

década del 2020: miremos hacia arriba...

**130 años yendo
rumbo a lo más chico
y a lo mas grande**

CLASE 1: Introducción General

Bibliografía:

- A. De Angelis, et al., *Introductory Particle and Astroparticle Physics (Cosmología y Relatividad)*
- F. Halzen, A. Martin, *Quarks and Leptons, an introductory course to elementary particle physics*
- D. Griffiths, *Introduction to elementary particle.*
- J.J. Sakurai, *Advanced Quantum Mechanics (Ec. Dirac).*
- M. Peskin, *Quantum Field Theory (Ec. Dirac, 2da cuantización).*
- P.E. Hodgson, et al., *Introductory Nuclear Physics (Fenomenología Nuclear)*

Teóricas: Martes y Jueves 17:00-18:30

2 Parciales (12/05 y 2/07)

2 Recuperatorios (a definir)

CLASE 1: Introducción Histórica

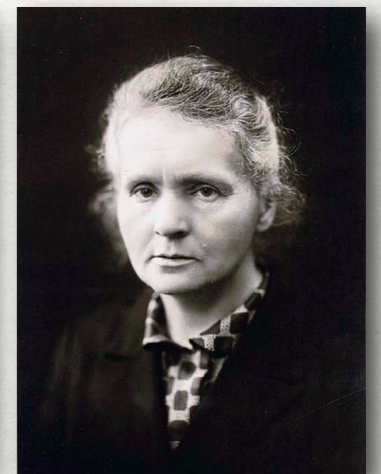
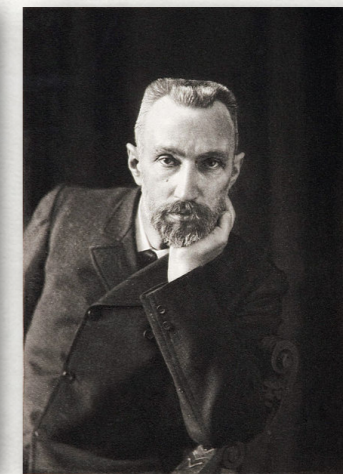
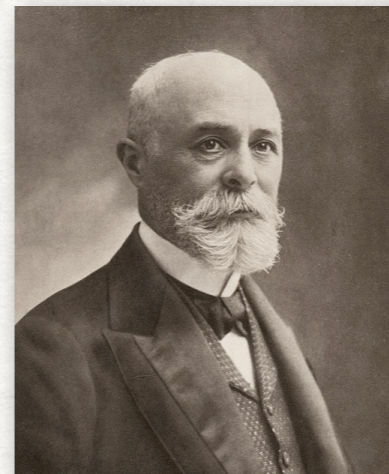
Radioactividad, electrones, núcleos, protones y neutrones (1896-1932):

orígenes: estudios de radiactividad natural (H. Becquerel, P. y M. Curie ~1896)

$$\alpha \quad {}^4_2\text{He}$$

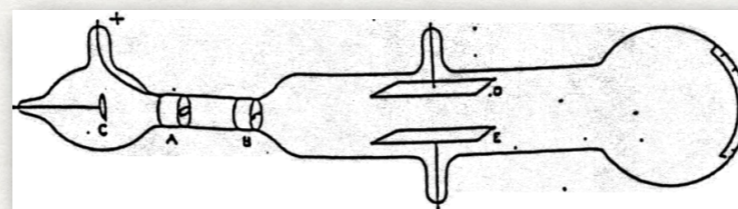
$$\beta^\pm \quad e^- e^+$$

$$\gamma \quad \text{fotones}$$



electrones "rayos catódicos" (J.J. Thomson ~1897)

$$\frac{e}{m_e} \gg \text{iones conocidos}$$



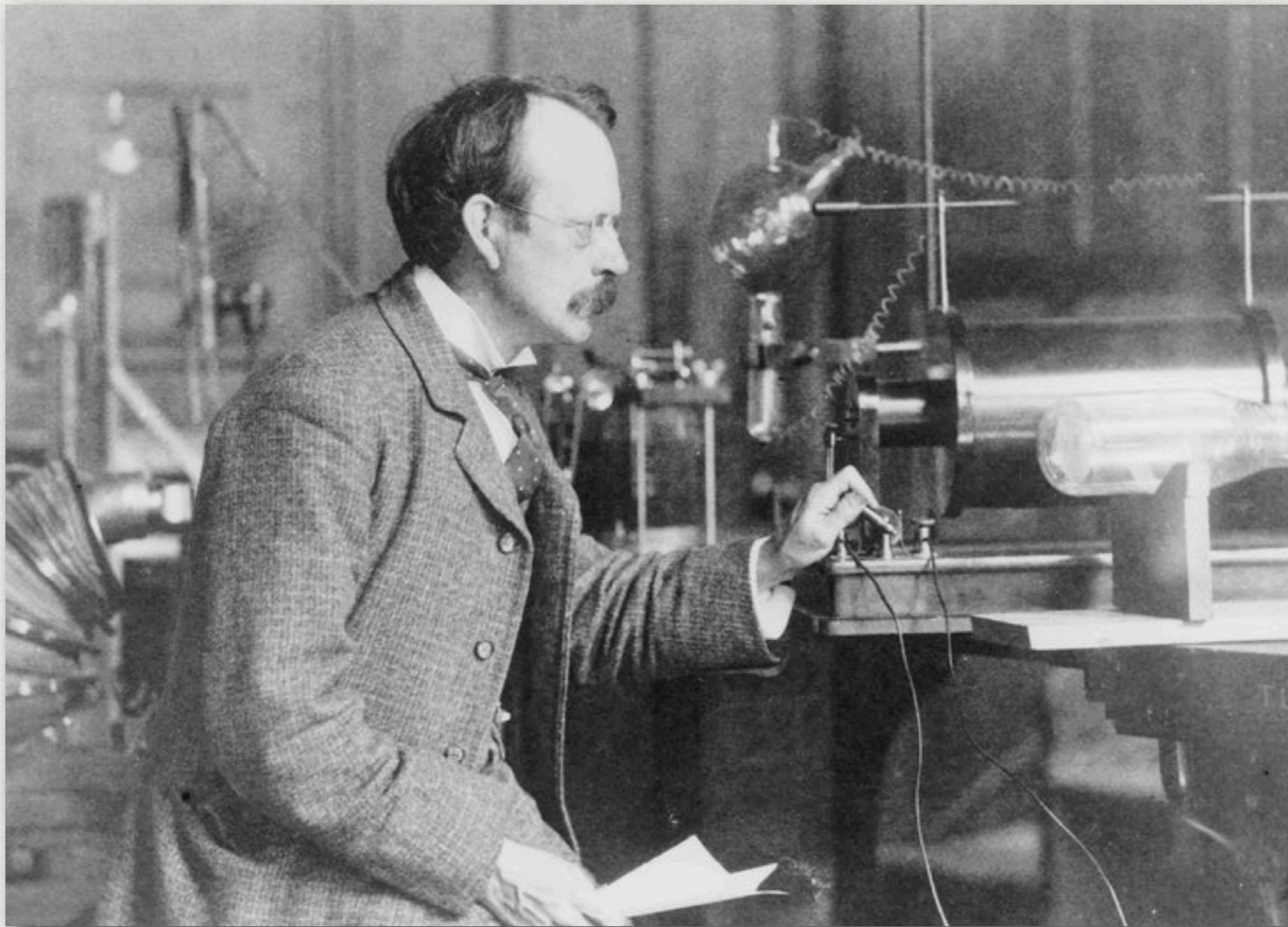
(m_e R. Millikan 1909)

$$m_e c^2 = 0.511 \text{ MeV} \quad m_p c^2 = 938 \text{ MeV}$$

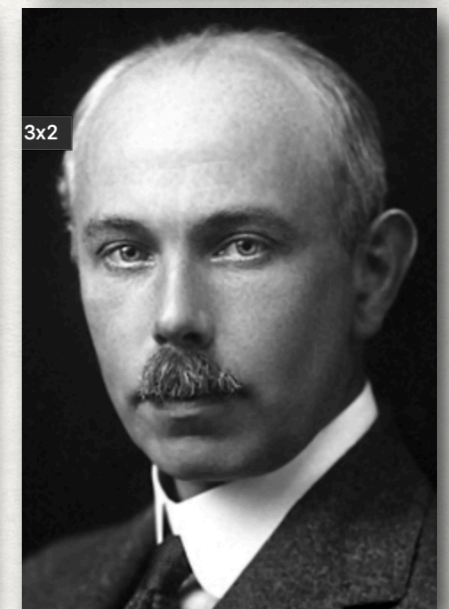
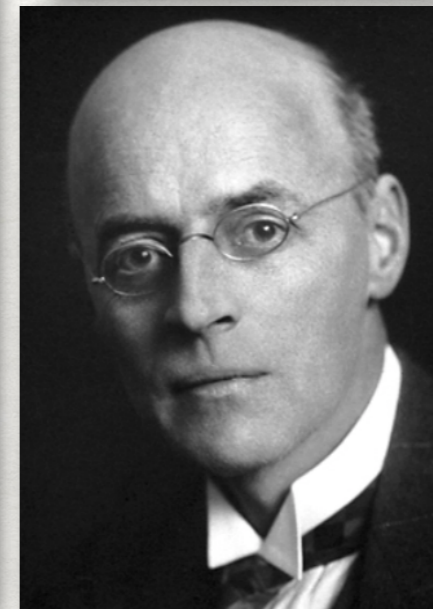
electrón como constituyente

$$\text{masas} \sim \frac{E}{c^2} \quad \text{impulsos} \sim \frac{E}{c} \quad \hbar c \sim 197 \frac{\text{MeV}}{\text{fm}}$$

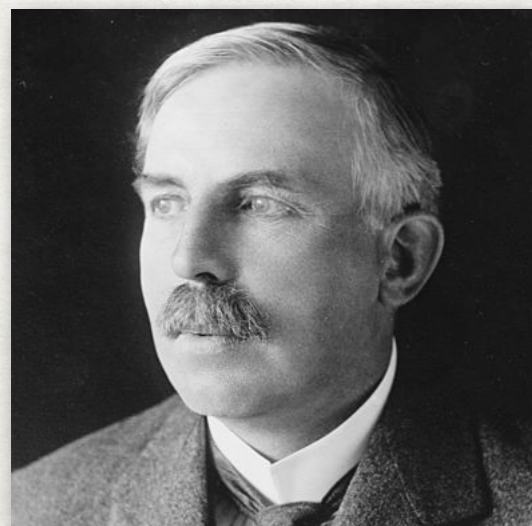
Joseph Thomson (Nobel 1906)



George Thomson (Nobel 1937) Charles Glover (Nobel 1917)



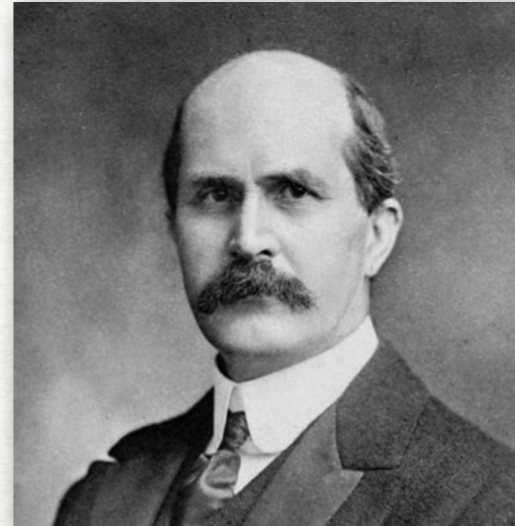
Owen Richardson (Nobel 1928) Francis Aston (Nobel 1922)



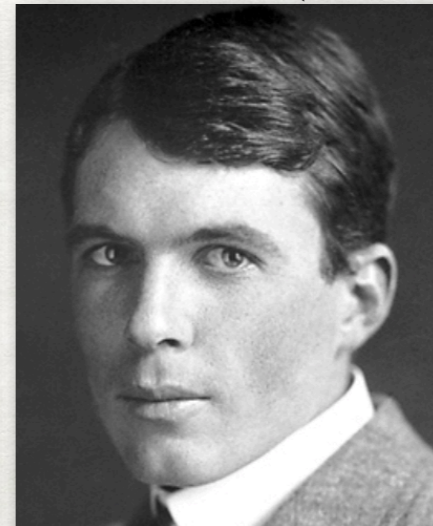
Ernest Rutherford (Nobel 1908)



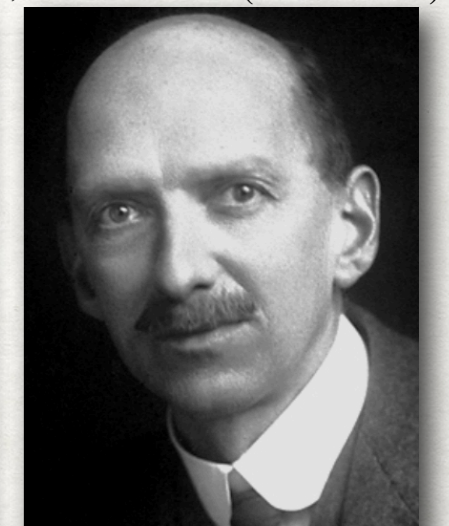
Niels Bohr (Nobel 1922)



William Bragg (Nobel 1915)



Lawrence Bragg (Nobel 1915)



Charles Wilson (Nobel 1927)

CLASE 1: Introducción Histórica

Radioactividad, electrones, núcleos, protones y neutrones (1896-1932):

1896 Becquerel-Curie radiactividad natural

1897 Thomson electrón

1905 Einstein *annus mirabilis*

1911 Rutherford núcleo atómico (H^+ protón)

1913 Bohr átomo de hidrógeno

1914 Moseley $Z \sim$ frecuencia radiación

1915 Einstein relatividad general

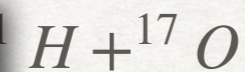
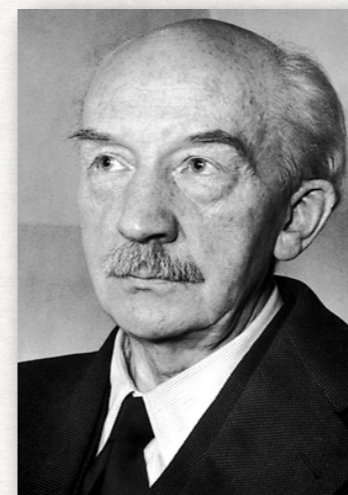
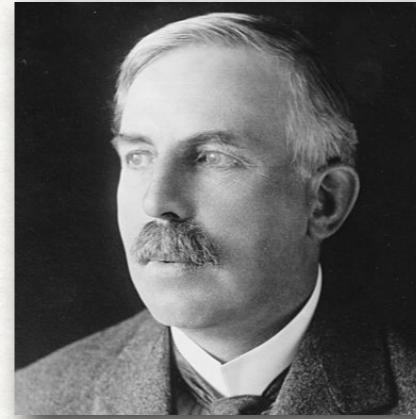
1918 Rutherford protón como constituyente

1927 Dirac cuántica relativista

1930 Bothe y Becker neutrones?

1931 Anderson positrones

1932 Chadwick neutrones



cómo está constituida la materia?

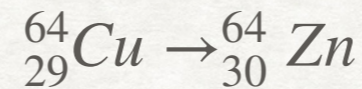
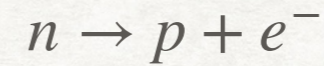
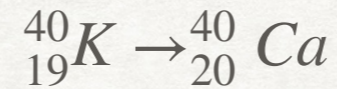
átomos con núcleos, con protones y neutrones y electrones orbitando

CLASE 1: Introducción Histórica

Principios de cambio, neutrinos, antipartículas y mesones (1930-1950):

indicios de cambio: cosas que no cierran

indicio de los decaimientos beta:



$$A : (E_A, \vec{p}_A)$$

$$B : (E_B, \vec{p}_B)$$

$$e^{-} : (E_e, \vec{p}_e)$$

en el centro de masa

$$\vec{p}_A = 0 \quad E_A = m_A$$

$$\vec{p}_B = -\vec{p}_e$$



$$(E_B, \vec{p}_B)$$

$$(E_e, -\vec{p}_B)$$

fijas por conservación de E y relación E-p

$$E_B^2 = \vec{p}_B^2 + m_B^2$$

$$E_e^2 = \vec{p}_e^2 + m_e^2$$



E_e fija!

$$p \rightarrow n + e^{+} + \nu$$

$$n \rightarrow p + e^{-} + \bar{\nu}$$



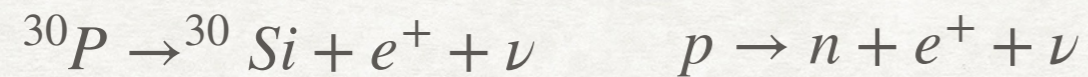
CLASE 1: Introducción Histórica

Principios de cambio, neutrinos, antipartículas y mesones (1930-1950):

indicio de las antipartículas:

predichas por la ec. de Dirac 1927

(re)descubiertas por Anderson 1931



indicio de las fuerzas nucleares:

fuerzas de corto alcance \rightarrow mediadores masivos (Yukawa 1934)

$\sim 150 \text{ MeV}$ mesones bariones (p,n)
leptones (e^- , ν)

descubiertas 1937 (Anderson / Street)

$$\pi \sim 140 \text{ MeV}$$

$$\mu \sim 105 \text{ MeV}$$

$$\pi \rightarrow \mu + \nu$$

$$\mu \rightarrow e^- + 2\nu$$



CLASE 1: Introducción Histórica

Proliferación (1950-1960):

neutrinos: realmente existen?

experimentos decisivos de Reines y Cowan en Savannah River

$$\phi_\nu \sim 5 \cdot 10^{13} \frac{\bar{\nu}}{\text{cm}^3 \text{ s}}$$

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$$

$$p \rightarrow n + e^+ + \nu \quad \rightarrow \quad \bar{\nu} + p \rightarrow n + e^+ \quad (2-3 \text{ e}^+/\text{h})$$

es lo mismo ν que $\bar{\nu}$?

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu} \quad \rightarrow \quad \nu + n \rightarrow p + e^-$$

$$\bar{\nu} + n \not\rightarrow p + e^- \quad \rightarrow \quad \bar{\nu} \neq \nu$$



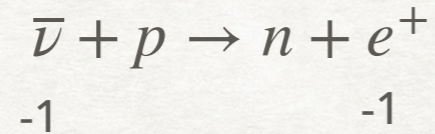
CLASE 1: Introducción Histórica

Proliferación (1950-1960):

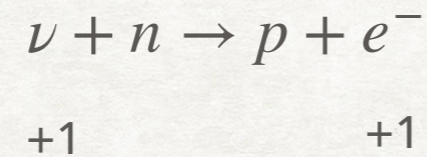
número leptónico: *"lo que no está prohibido es obligatorio"*

+1 para leptones, -1 para anti-leptones

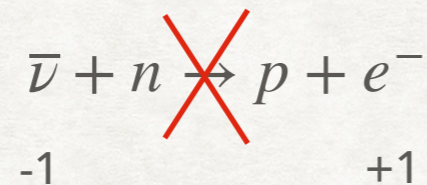
exp. de Reines y Cowan



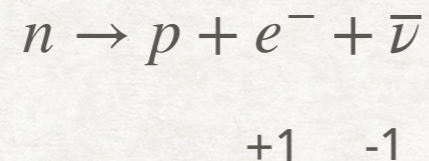
exp. inverso



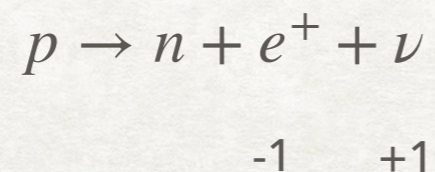
exp. equivocado



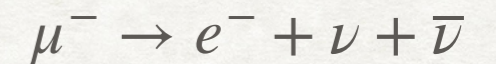
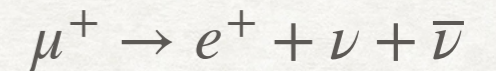
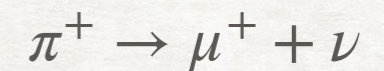
decaimiento β^-



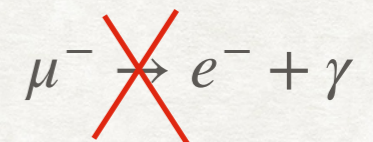
decaimiento β^+



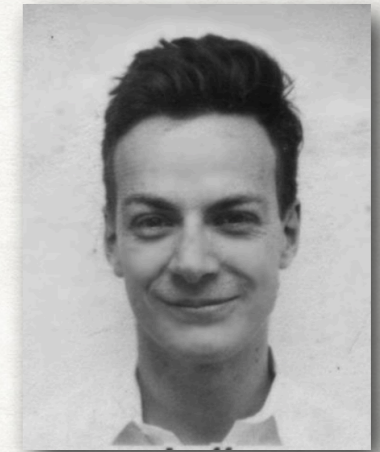
decaimiento mesones



pero.....



independiente para (e^-, ν_e) y (μ^-, ν_μ)



CLASE 1: Introducción Histórica

Proliferación (1950-1960):

nuevas partículas:

bariones (nucleones)	p, n
leptones	$e^-, \mu^-, \nu_e, \nu_\mu$
mesones	π^+, π^-, π^0

1947 K^0 497 MeV $K^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$

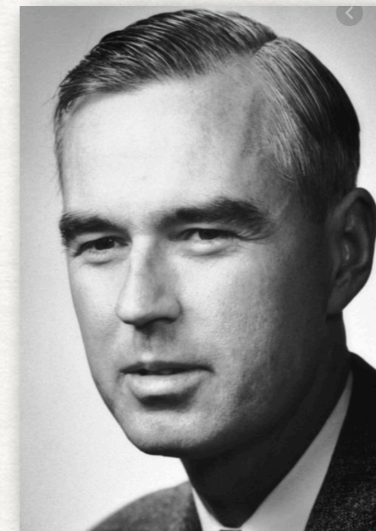
1949 K^+ 493 MeV $K^+ \rightarrow 3\pi$

$K^-, \eta^0, \phi^0, \omega, \rho, \dots$

1950 Λ^0 1115 MeV (barion?) $\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$

porqué no decae en mesones?

porqué el protón no decae en mesones?



Lamb's rule



número bariónico! +1 para bariones, -1 para antibariones, 0 para mesones y leptones

ningún problema con decaimientos β

ni con anti-protones/neutrones

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$$

$$p + p \rightarrow p + p + p + \bar{p}$$

$$p + p \rightarrow p + p + n + \bar{n}$$

Brookhaven 1952

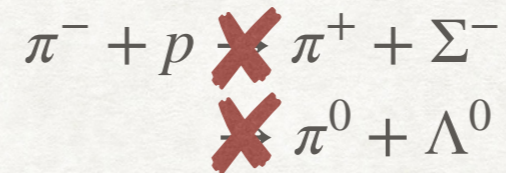
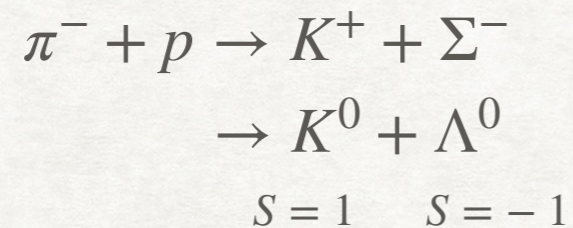
Berkeley 1955

CLASE 1: Introducción Histórica

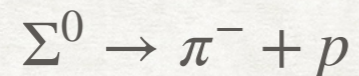
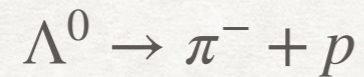
Proliferación (1950-1960):

nuevos números cuánticos: extrañeza

bariones y mesones que se producen de a pares con facilidad



que tampoco decaían individualmente (o lo hacían con probabilidades exiguas)

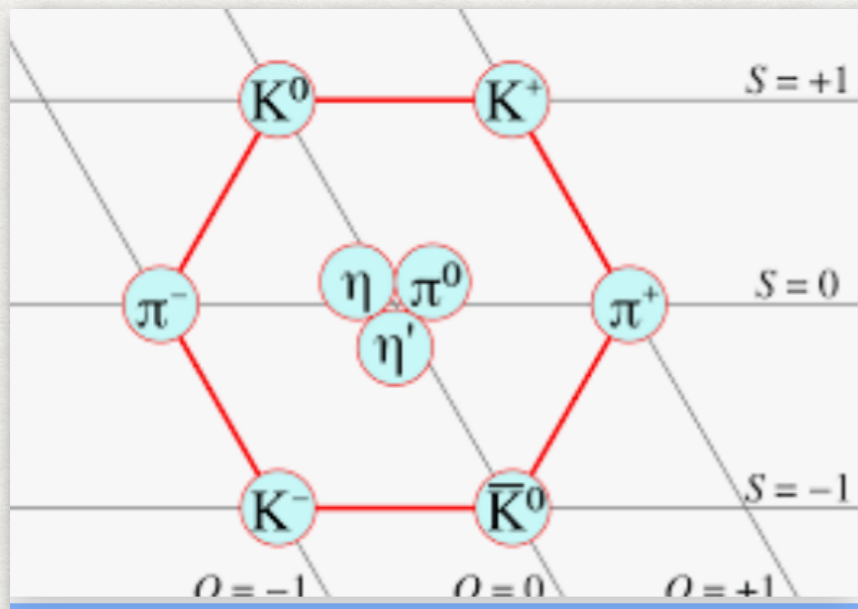


CLASE 1: Introducción Histórica

La nueva tabla periódica (1961-1964):

buscando patterns...

bariones de spin 1/2



mesones de spin 0



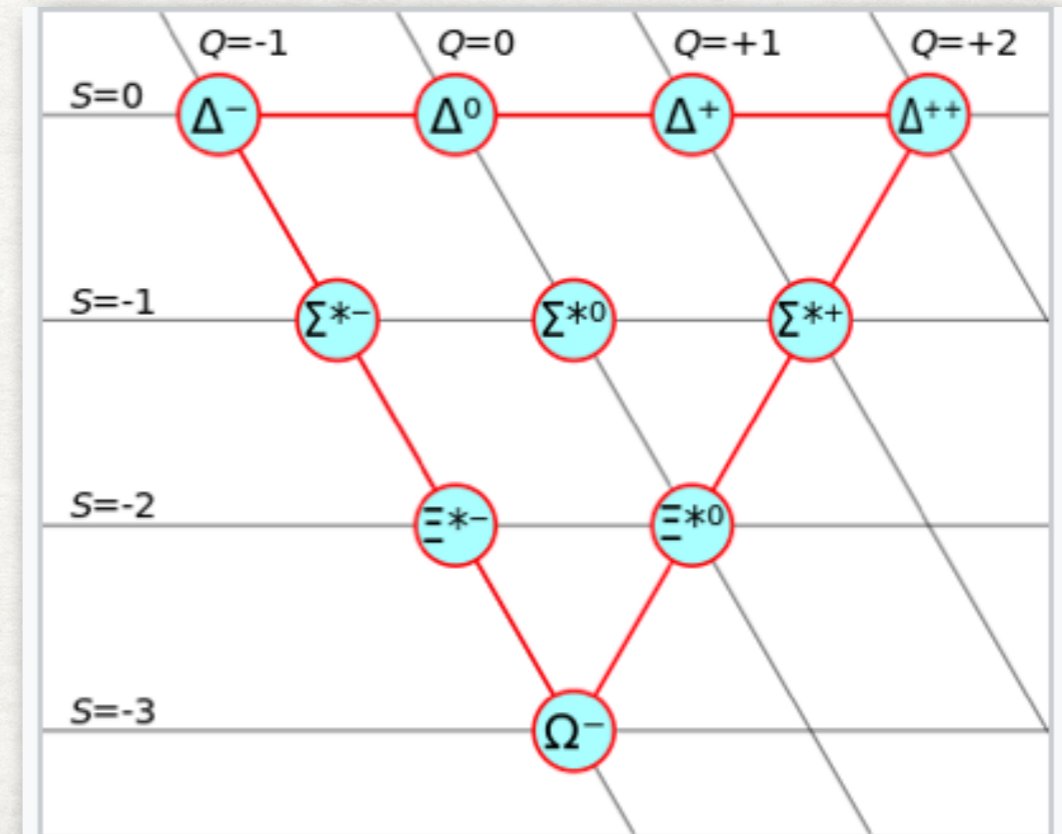
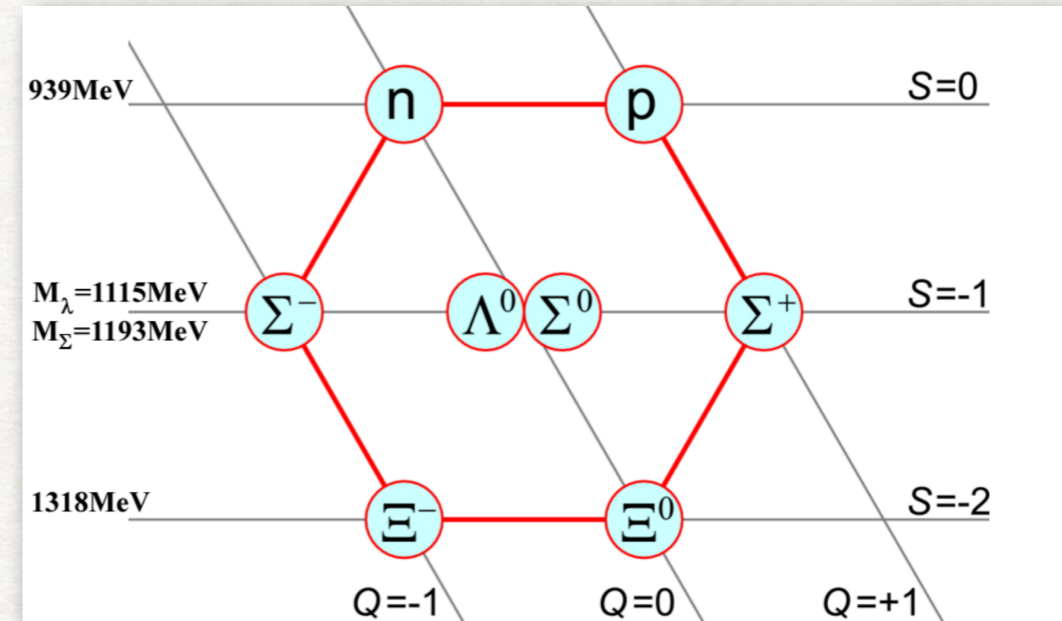
$$2 \otimes 2 = 3 + 1$$

$$2 \otimes 2 \otimes 2 = 4 + 2 + 2$$

$$3 \otimes 3 \otimes 3 = 10 + 8 + 8 + 1$$

$$3 \otimes \bar{3} = 8 + 1$$

bariones de spin 3/2



CLASE 1: Introducción Histórica

Paradigma de la simetría:

Invariancia de gauge U(1): A_μ no está bien definido $A_\mu \rightarrow A_\mu + \partial_\mu \alpha(x)$
 $\phi \rightarrow e^{i\alpha} \phi$

Invariancia de gauge SU(2): interacciones débiles (Fermi "la vio")

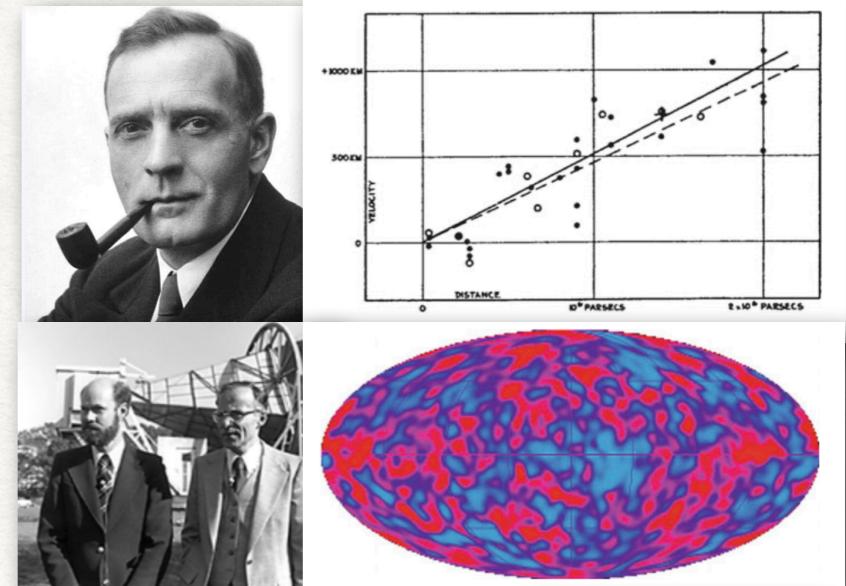
Invariancia de gauge SU(3): interacciones fuertes (vislumbrada via el modelo de quarks)

CLASE 1: Introducción Histórica

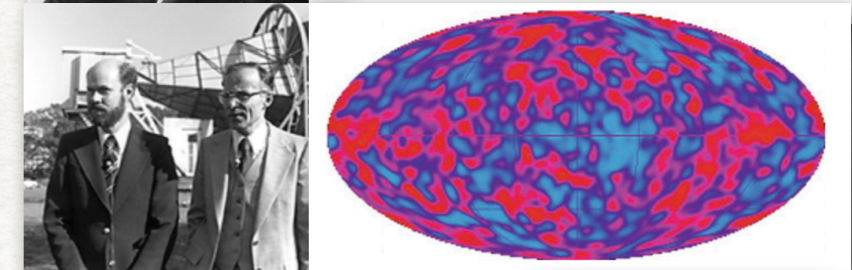
Cosmología: (en una servilleta)

evolución mas vertiginosa: Via Láctea única (1900) \longrightarrow 10^{11} galaxias

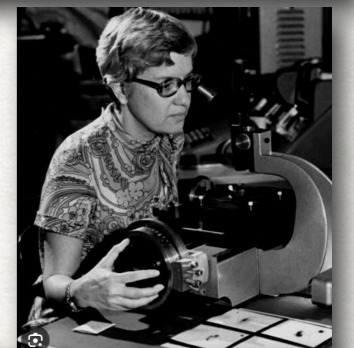
1929 Edwin Hubble: el universe se expande \longrightarrow big bang



1965 Penzias y Wilson: fondo cósmico microondas (CMB)



1980 Vera Rubin: las galaxias giran a una velocidad equivocada: dark matter



1988 Permuter, Schmidt, Riess: la expansión se acelera: dark energy

2015 Weiss, Barrish, Thorne: ondas gravitacionales
(GR, QG, mapeo de objetos compactos)

