

ESTRUCTURA DE LA MATERIA 4

2DO CUATRIMESTRE 2025

CLASE 1

RODOLFO SASSOT

CLASE 1: Introducción General

objetivo: panorama de física subatómica (nuclear y subnuclear)

*originalmente preguntas típicas de física nuclear: porqué algunos núcleos son estables y otros (muy parecidos) no?
porqué es tan grande la energía liberada en una reacción?*

enfoque más actual: física con que uno tropieza a nivel subnuclear (distinta a la que vieron en las teóricas)

pensar las interacciones como forma imponer una simetría

pensar las partículas como excitaciones del vacío y su masa como otra interacción más

década del 30: "inicios" cuántica relativista y física nuclear

década del 40: "impasse" WW II

década del 50: "proliferación" explosión tecnológica/recursos

década del 60: "simetrías"

década del 70 y 80: "paradigma del modelo estándar"

década del 90: "precisión"

década del 2000: "y dónde está el Higgs?"

década del 2010: "acá está! (y ahora?)"

*neutrinos?
materia oscura?
gravedad cuántica?
....*

**90 años de camino
hacia la
elementariedad**

CLASE 1: Introducción General

Bibliografía:

F. Halzen, A. Martin, *Quarks and Leptons, an introductory course to elementary particle physics*

D. Griffiths, *Introduction to elementary particle*.

H. Frauenfelder, E. Henley, *Subatomic Physics*.

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* (Fenomenologia Nuclear)

Teóricas: Martes y Viernes 9:00-10:15

2 Parciales (10/10 y 2/12 AFA?)

2 Recuperatorios (a definir)

CLASE 1: Introducción Histórica

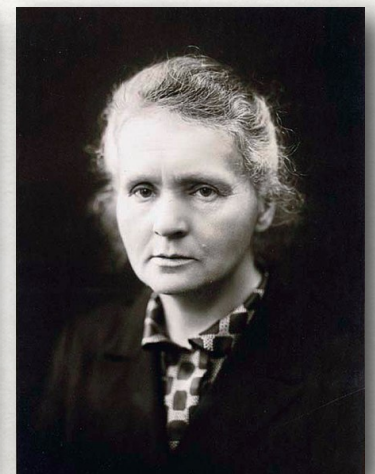
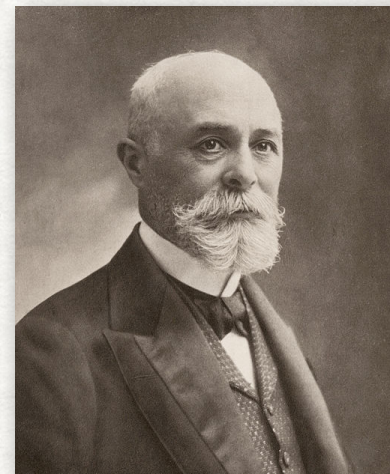
Radioactividad, electrones, núcleos, protones y neutrones (1896-1932):

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

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

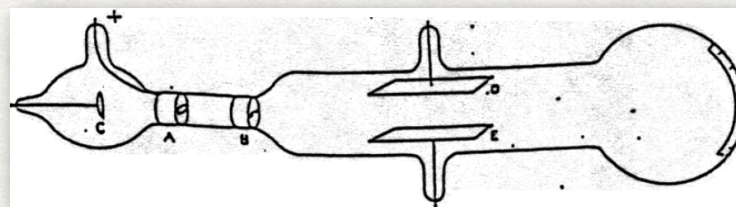
$$\beta^\pm \quad e^- e^+$$

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



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

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



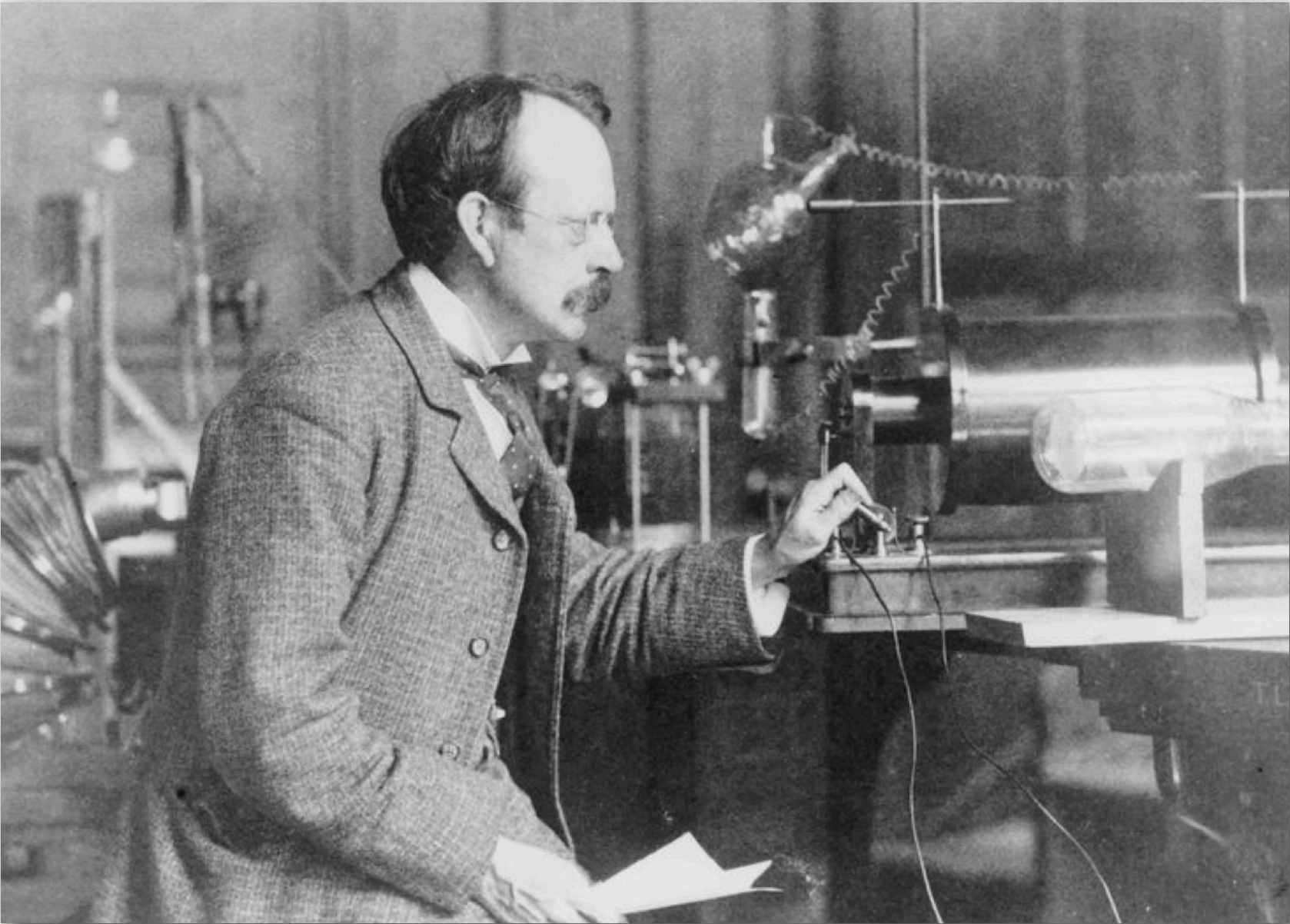
(m_e R. Millikan 1909)

electrón como constituyente

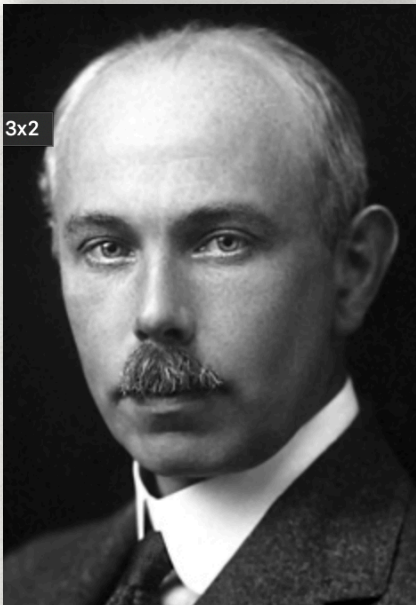
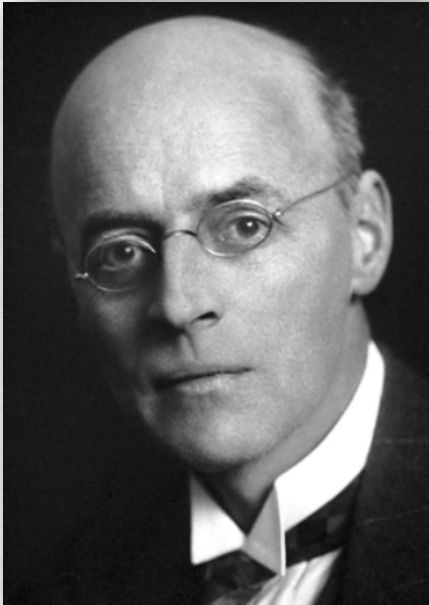
$$m_e c^2 = 0.511 \text{ MeV} \quad m_p c^2 = 938 \text{ MeV}$$

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

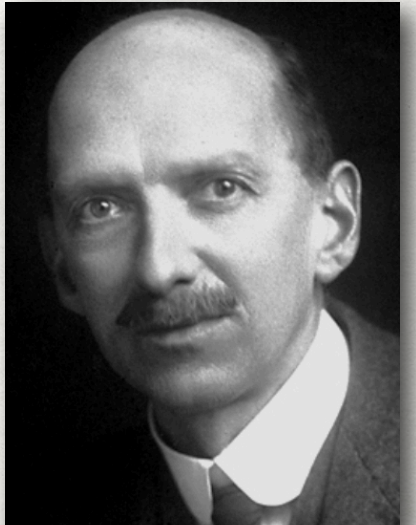
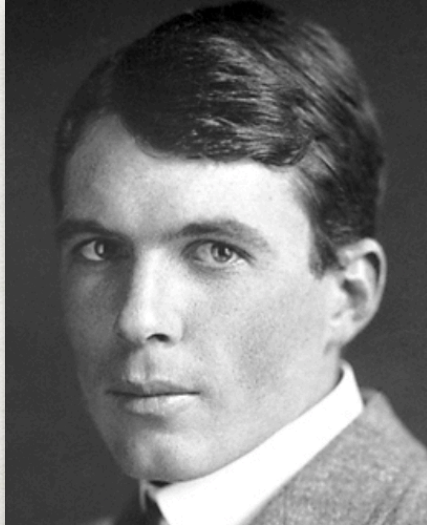
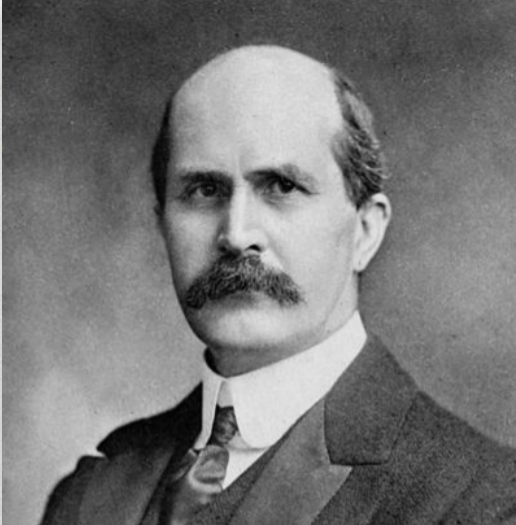
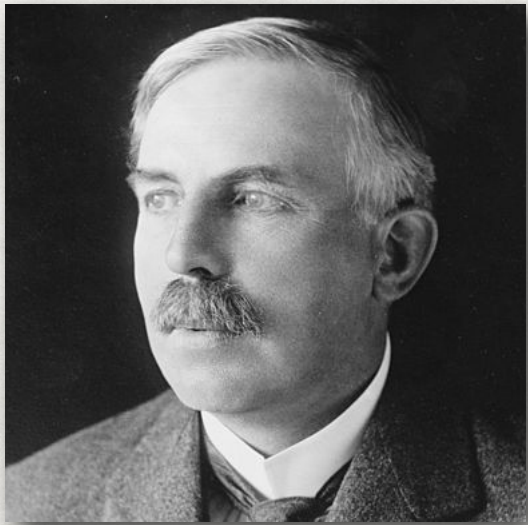
Joseph Thomson (Nobel 1906)



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

1911 Rutherford núcleo atómico (H^+ protón)

1913 Bohr átomo de hidrógeno

1914 Moseley $Z \sim$ frecuencia radiación

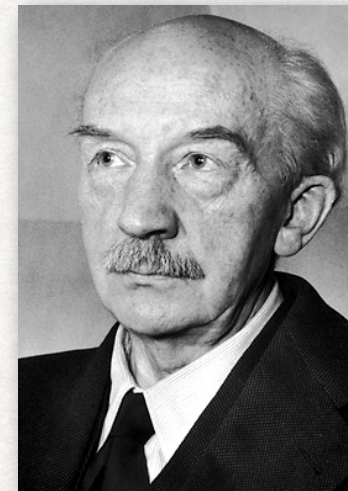
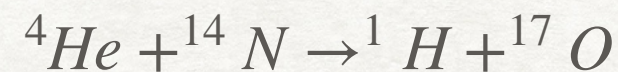
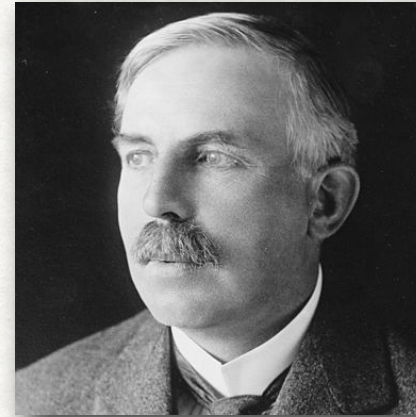
1918 Rutherford protón como constituyente

1927 Dirac cuántica relativista

1930 Bothe y Becker neutrones?

1931 Anderson positrones

1932 Chadwick neutrones



cómo está constituida la materia?

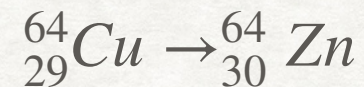
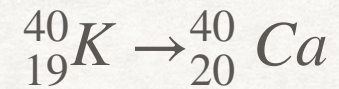
atomos con núcleos, con protones y neutrones y
electrones orbitando

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 → mediadores masivos (Yukawa 1934)

~ 150 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

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

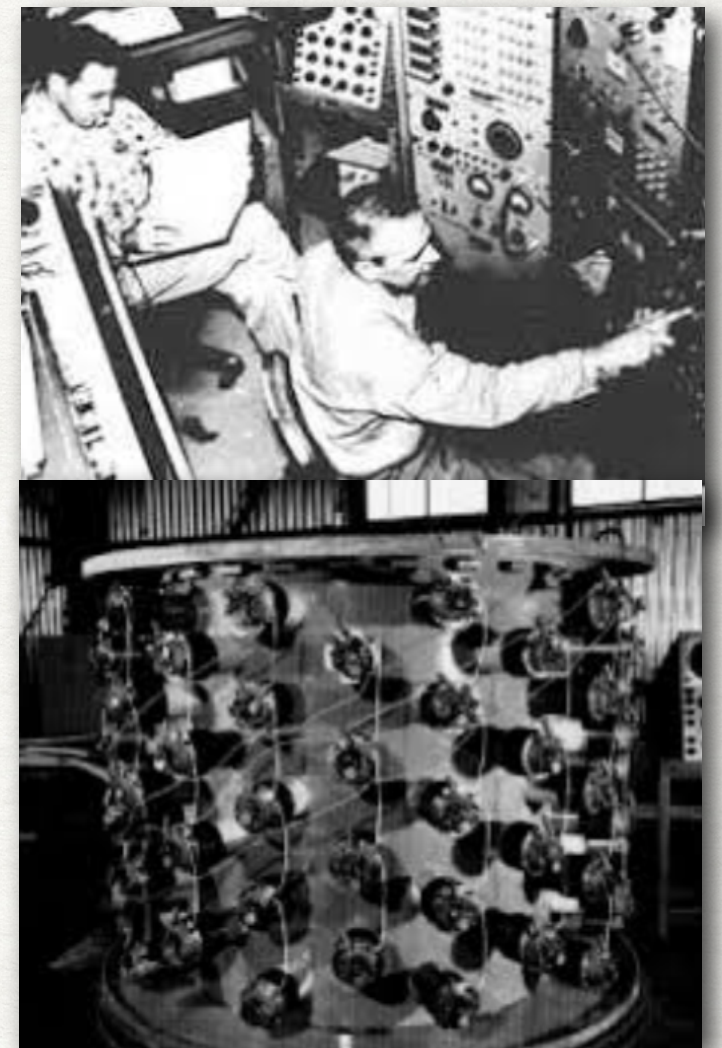
$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$$

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

es lo mismo ν que $\bar{\nu}$?

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

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



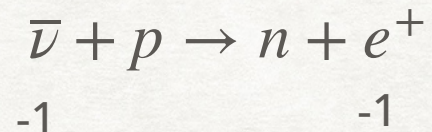
CLASE 1: Introducción Histórica

Proliferación (1950-1960):

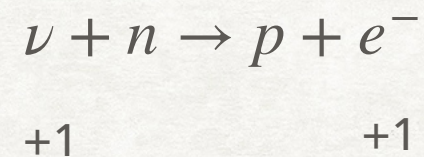
número leptónico: *"lo que no está prohibido es obligatorio"*

+1 para leptones, -1 para anti-leptones

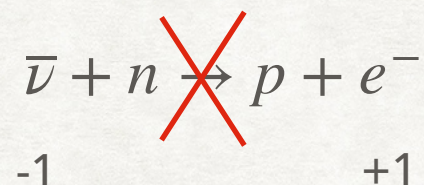
exp. de Reines y Cowan



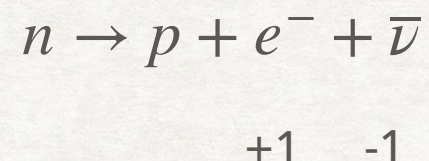
exp. inverso



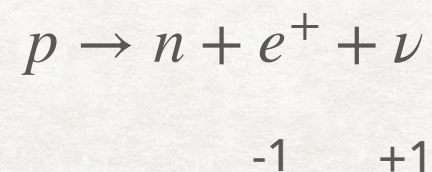
exp. equivocado



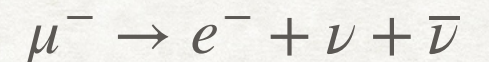
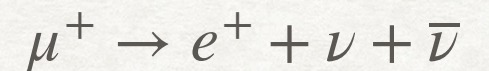
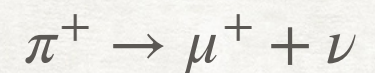
decaimiento β^-



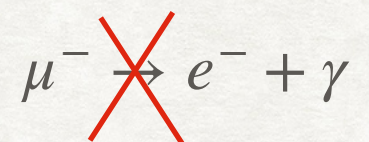
decaimiento β^+



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 $K^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$

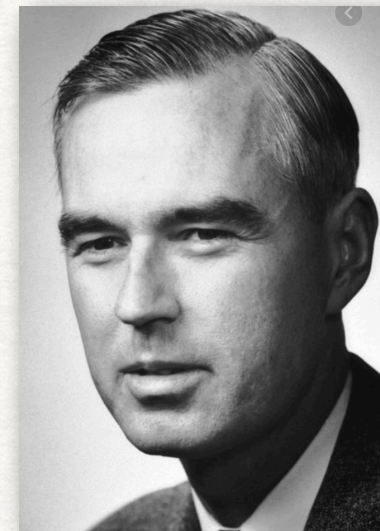
1949 K^+ 493 MeV $K^+ \rightarrow 3\pi$

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

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

$$\begin{aligned}\pi^- + p &\rightarrow K^+ + \Sigma^- \\ &\rightarrow K^0 + \Lambda^0 \\ S = 1 \quad S = -1\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\pi^- + p &\not\rightarrow \pi^+ + \Sigma^- \\ &\not\rightarrow \pi^0 + \Lambda^0\end{aligned}$$

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

$$\Lambda^0 \rightarrow \pi^- + p$$

$$\Sigma^0 \rightarrow \pi^- + p$$

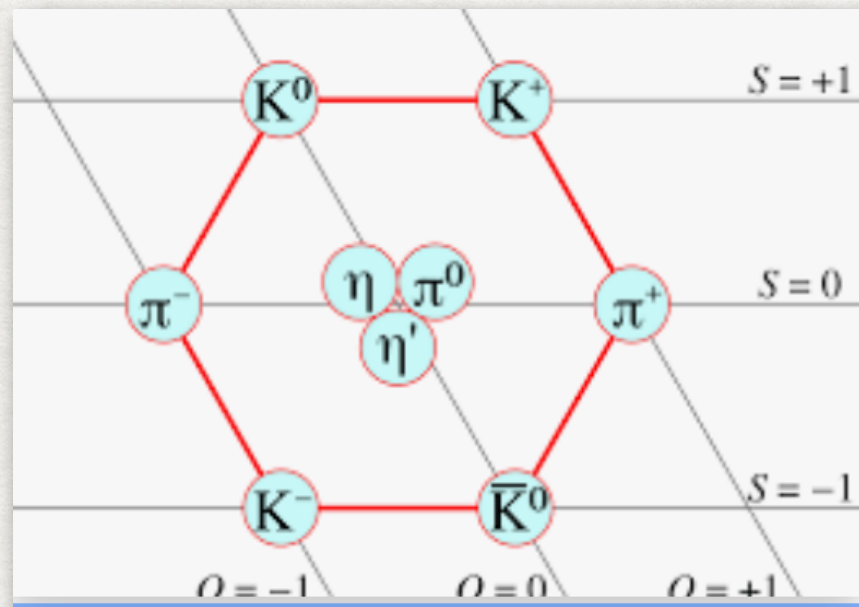


CLASE 1: Introducción Histórica

La nueva tabla periódica (1961-1964):

buscando patterns...

bariones de spin 1/2



mesones de spin 0



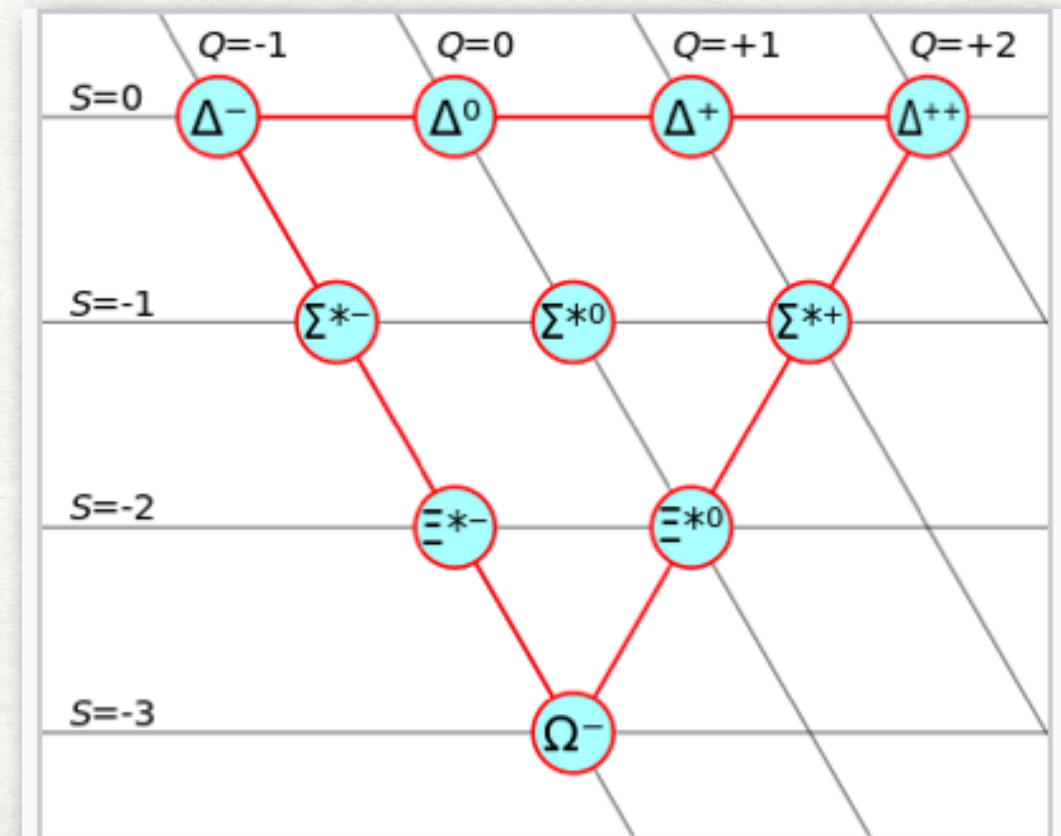
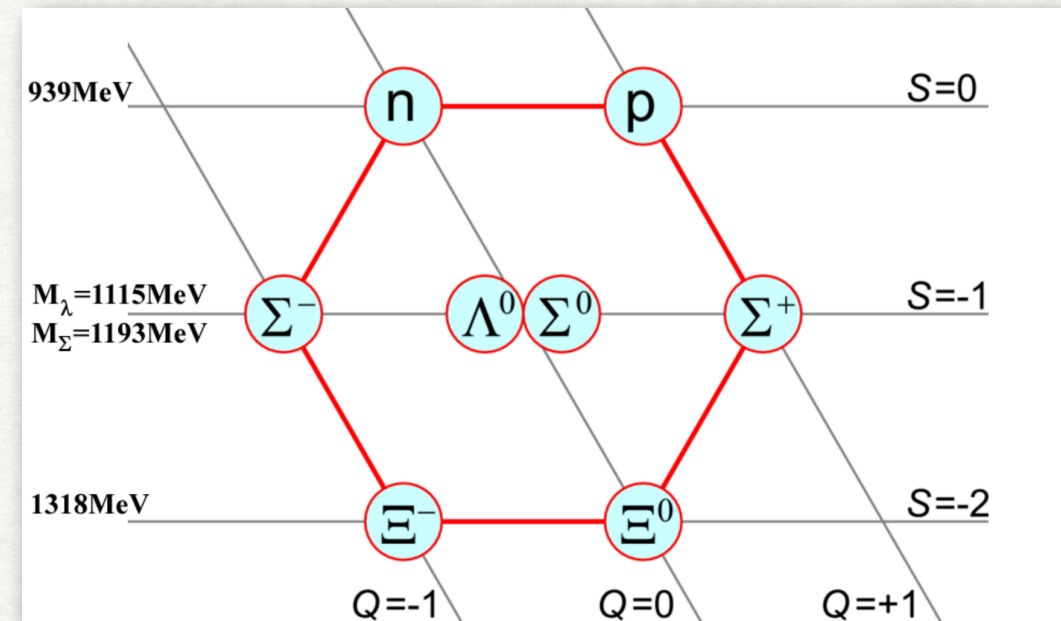
$$2 \otimes 2 = 3 + 1$$

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

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

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

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 (heredada del modelo de quarks)