# ESTRUCTURA DE LA MATERIA 4

**CURSO DE VERANO 2021** 

CLASE 1

#### 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 tecnólogica/recursos

década del 60: "simetrías"

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

década del 90: "precisión"

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

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

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.

P.E. Hodgson, et al., Introductory Nuclear Physics.

Teóricas y Prácticas: Lunes, Miércoles y Viernes 9:00

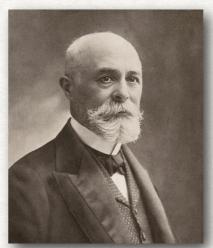
- 2 Parciales (22/02 y 17/03)
- 2 Recuperatorios (a definir)

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

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

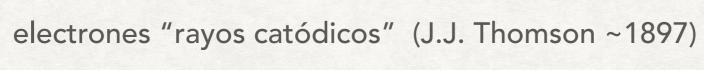
$$\alpha$$
 <sup>4</sup><sub>2</sub>He

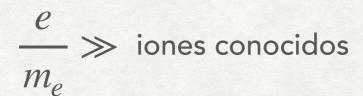
$$\alpha$$
  ${}_{2}^{4}He$ 
 $\beta^{\pm}$   $e^{-}e^{+}$ 
 $\gamma$  fotones

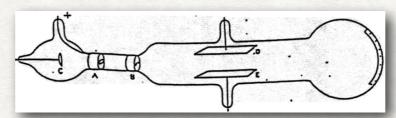
















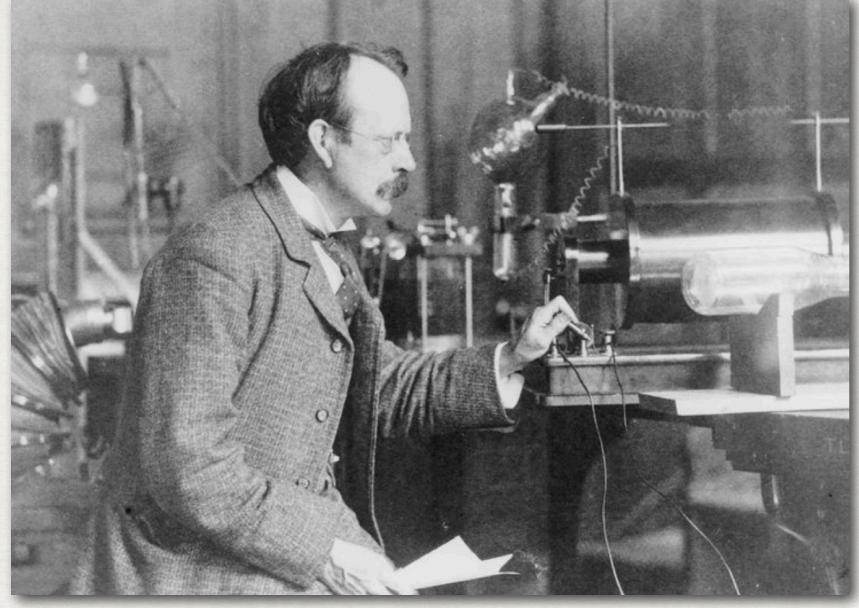
(*m*<sub>e</sub> R. Millikan 1909)

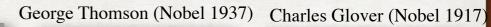
electrón como constituyente

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

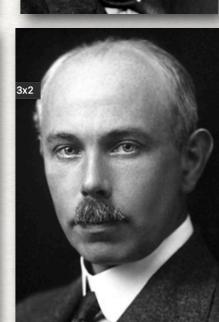
$$m_e c^2 = 0.511 \, MeV$$
  $m_p c^2 = 938 \, MeV$ 

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

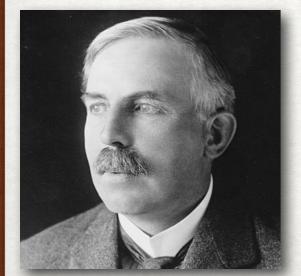








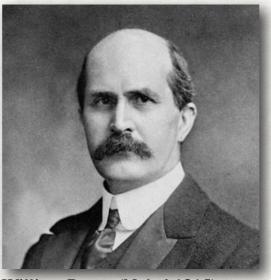
Owen Richardson (Nobel 1928)Francis Aston (Nobel 1922)



Ernest Rutherford (Nobel 1908)



Niels Bohr (Nobel 1922)



William Bragg (Nobel 1915)



Lawrence Bragg (Nobel 1915) Charles Wilson (Nobel 1927)



# 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 ~ frecuencia radiación

1918 Rutherford protón como constituyente

1927 Dirac cuántica relativista

1930 Bothe y Becker neutrones?

1931 Anderson positrones

1932 Chadwick neutrones







 $^{4}He + ^{14}N \rightarrow ^{1}H + ^{17}O$ 





cómo está constituida la materia?

atomos con núcleos, con protones y neutrones y electrones orbitando

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

indicios de cambio: cosas que no cierran

indicio de los decaimientos beta:

$$^{40}_{19}K \rightarrow ^{40}_{20}Ca$$

$$n \rightarrow p + e^-$$

$$n \rightarrow p + e^ A \rightarrow B + e^-$$

$$_{29}^{64}Cu \rightarrow_{30}^{64} Zn$$

$$A:(E_A,\overrightarrow{p_A})$$

$$B:(E_B,\overrightarrow{p_B})$$

 $B:(E_B, \overrightarrow{p_B})$  en el centro de masa

$$\overrightarrow{p_A} = 0$$
  $E_A = m_A$ 

$$\rightarrow$$

$$(E_B, \overrightarrow{p_B})$$

$$e^-:(E_e,\overrightarrow{p_e})$$

$$\overrightarrow{p_B} = -\overrightarrow{p_e}$$

$$(E_{\rho}, -\overrightarrow{p_R})$$

$$E_B^2 = \overrightarrow{p_B}^2 + m_B^2$$

$$E_e^2 = \overrightarrow{p_e}^2 + m_e^2$$

$$E_e \text{ fija!}$$

$$\rightarrow$$
  $E_e$  fija

$$n \to p + e^- + \overline{\nu}$$



# 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

$$^{30}P \rightarrow ^{30}Si + e^{+} + \nu$$
  $p \rightarrow n + e^{+} + \nu$ 





#### indicio de las fuerzas nucleares:

fuerzas de corto alcance -> mediadores masivos (Yukawa 1934)

bariones (p,n)

 $\sim 150\,MeV$  mesones

leptones  $(e^-, \nu)$ 

descubiertas 1937 (Anderson / Street)

$$\pi \sim 140 \, MeV$$
  $\pi \rightarrow \mu + \nu$   $\mu \sim 105 \, MeV$   $\mu \rightarrow e^- + 2\nu$ 



## Proliferación (1950-1960):

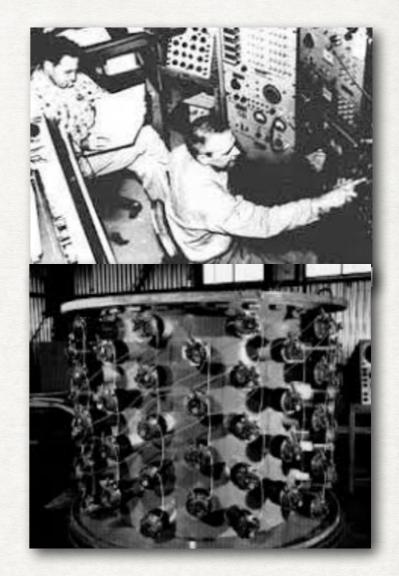
neutrinos: realmente existen?

experimentos decisivos de Reines y Cowan en Savannah River

$$\phi_{\nu} \sim 5 \ 10^{13} \ \frac{\overline{\nu}}{cm^3 \ s}$$

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

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



es lo mismo  $\nu$  que  $\overline{\nu}$  ?

$$n \to p + e^- + \overline{\nu} \quad \Longrightarrow \quad \nu + n \to p + e^-$$

# Proliferación (1950-1960):

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

+1 para leptones, -1 para anti-leptones



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

$$\nu + n \rightarrow p + e^-$$

decaimiento 
$$\beta^-$$

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

decaimiento 
$$\beta^+$$

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

decaimiento mesones

$$\pi^+ \to \mu^+ + \nu$$

$$\mu^+ \to e^+ + \nu + \overline{\nu}$$

 $\pi^- \rightarrow \mu^- + \overline{\nu}$ 

$$\mu^- \rightarrow e^- + \nu + \overline{\nu}$$

independiente para 
$$(e^-, \nu_e)$$
 y  $(\mu^-, \nu_u)$ 



# Proliferación (1950-1960):

#### nuevas partículas:

bariones (nucleones) p, n

leptones  $e^-, \mu^-, \nu_e, \nu_\mu$ 

mesones  $\pi^+,\pi^-,\pi^0$ 

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

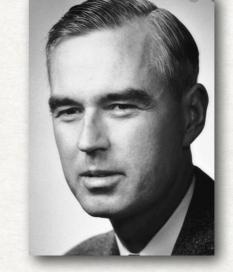
1950  $\Lambda^0$  1115 MeV (barion?)  $\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$ 

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

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

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  $\beta$  ni con anti-protones/neutrones

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

Brookhaven 1952 Berkeley 1955

## Proliferación (1950-1960):

#### nuevos números cuánticos: extrañeza

bariones y mesones que se producen de a pares con facilidad

$$\pi^{-} + p \to K^{+} + \Sigma^{-}$$

$$\to K^{0} + \Lambda^{0}$$

$$S = 1 \quad S = -1$$

$$\pi^{-} + p \times \pi^{+} + \Sigma^{-}$$
$$\times \pi^{0} + \Lambda^{0}$$

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

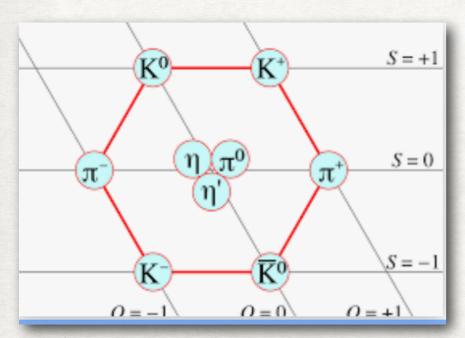
$$\Lambda^0 \to \pi^- + p$$
$$\Sigma^0 \to \pi^- + p$$



# La nueva tabla periódica (1961-1964):

buscando patterns...

bariones de spin 1/2



mesones de spin 0

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



$$2 \otimes 2 = 3 + 1$$
  
 $2 \otimes 2 \otimes 2 = 4 + 2 + 2$   
 $3 \otimes 3 \otimes 3 = 10 + 8 + 8 + 1$ 

bariones de spin 3/2

