

# El mundo subnuclear en los años 50-60

(El nacimiento del CERN)



Antonio Ferrer

(IFIC - Universidad de Valencia-CSIC)

*Catedrático de Física Atómica, Molecular y Nuclear*

Madrid, MNCyT, 17 de febrero de 2005

50 aniversario del CERN



World Year of  
Physics  
2005

Antes de 1932 sólo se conocen tres partículas:

			MeV
Fotón	$\gamma$	(igual que rayos X)	$m=0$
Electrón	$e$	(Thomson, 1895)	$m=0,5$
Protón	$p$	(Thomson, 1910)	$m=938$

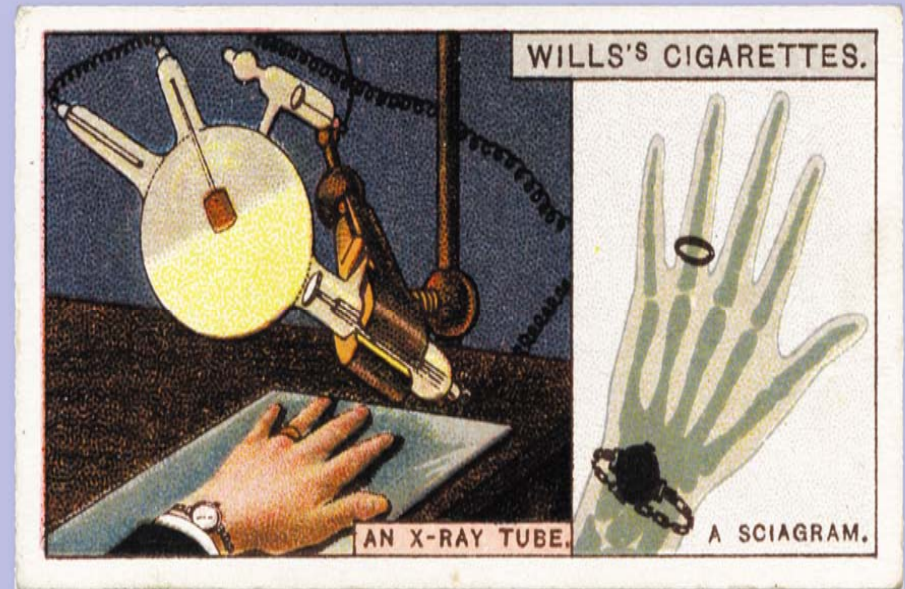
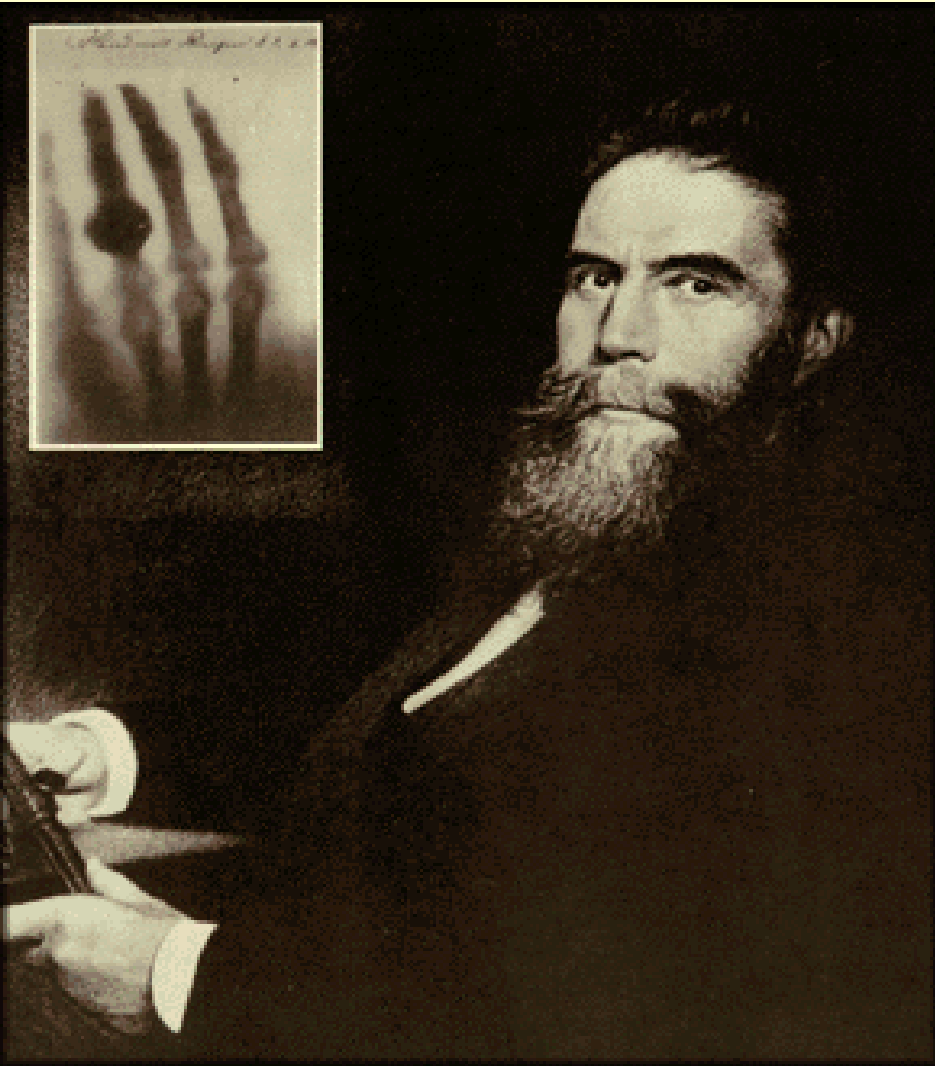
...Y la primera idea del átomo fracasa

# Los rayos X (fotones) 1895

Wilhelm Röntgen

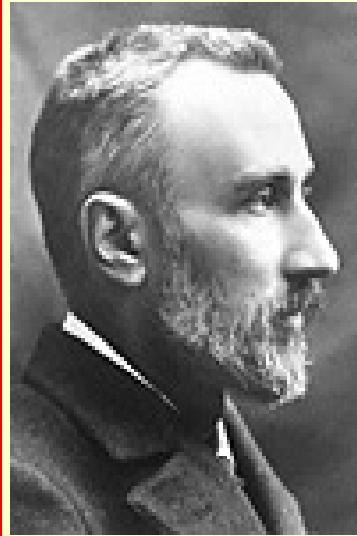
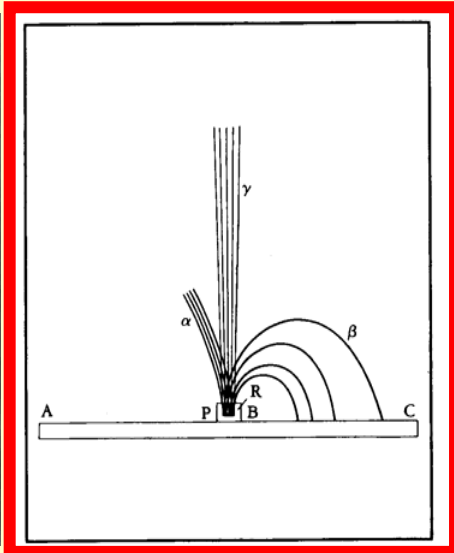
(1845-1923)

Premio Nobel 1901



# Descubrimiento de la radiactividad (1896)

Henry Becquerel  
Premio Nobel 1903



Los Curie  
Premio Nobel 1903

$\alpha, \beta, \gamma$

Maria  
Skłodowska

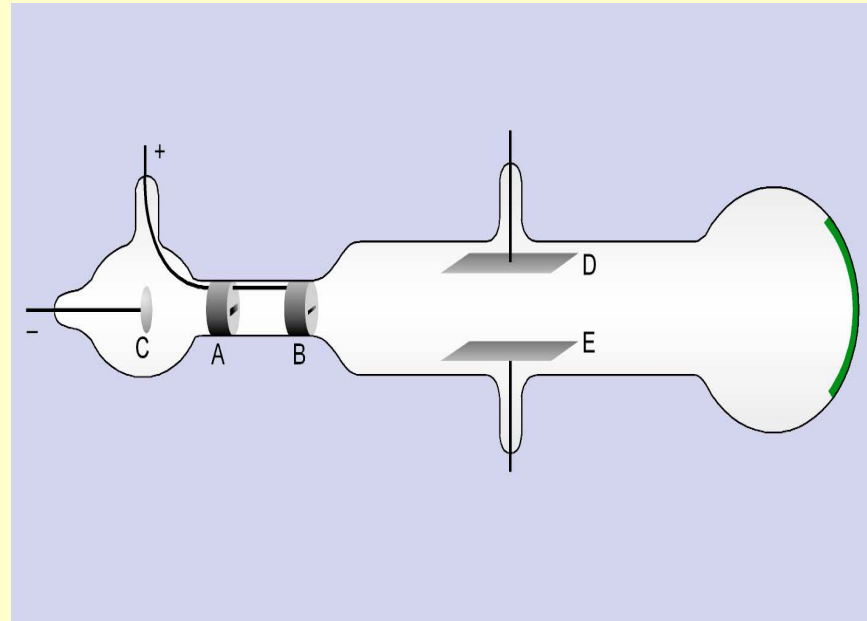
Pierre

# Descubrimiento del electrón (El tubo de rayos catódicos)

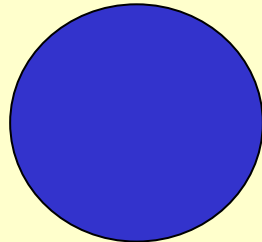


J.J. Thomson  
P. Nobel 1906

1895

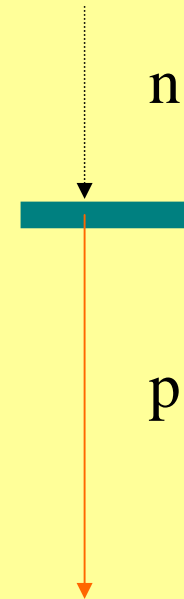
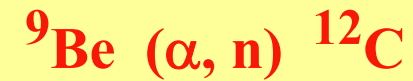


p



e •

# El descubrimiento del neutrón



Los rayos del berilio



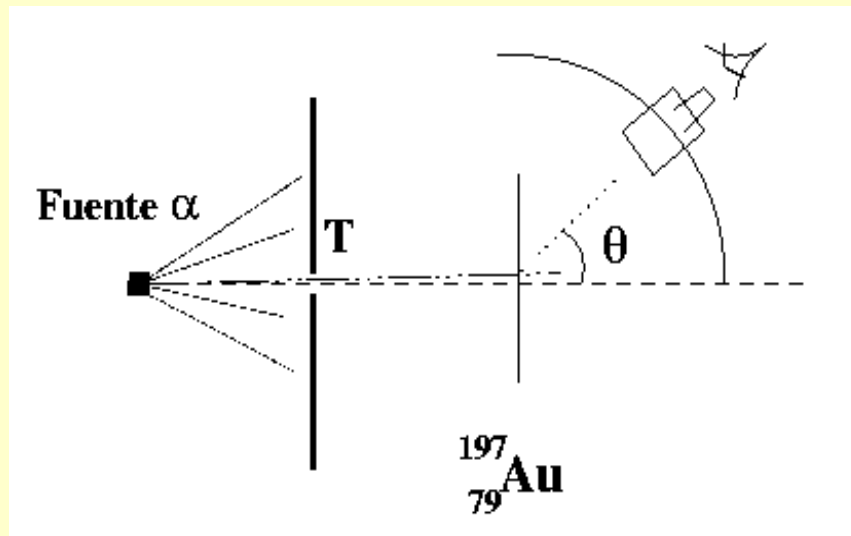
James Chadwick

P. Nobel 1935



# Descubrimiento del núcleo atómico (gracias a la radiactividad)

En 1911, Lord Rutherford descubre que toda la masa del átomo está concentrada en el núcleo.





# Las fuentes de partículas

1. La radiactividad (1896):

H. Becquerel

2. Los rayos cósmicos (1911):

V. Hess

3. Los aceleradores (1930):

Cockroft-Walton, E. Lawrence

# *Los detectores de partículas*

**1.El electroscopio**

**2.Las emulsiones fotonucleares**

**3.Las cámaras de niebla**

**4.Las cámaras de burbujas**

**4.Contadores Geiger-Müller**

**5.Centelleadores**

# De la física clásica a la cuántica

La Mecánica de Newton y el Electromagnetismo de Maxwell no explican las propiedades del átomo.

Es necesario introducir nuevas ideas:

## 1) Teoría Cuántica

cuantos de materia y energía ( $E=h\nu$ )

las partículas tienen propiedades ondulatorias

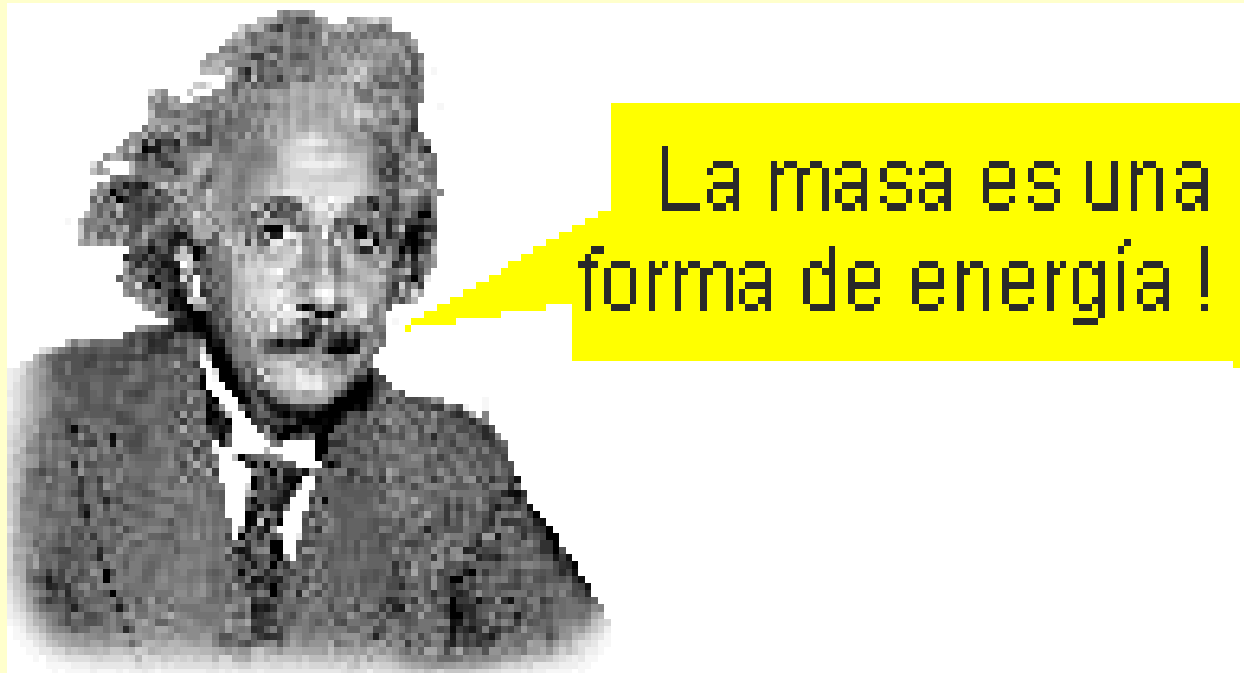
$$(\lambda=h/p)$$

incertidumbre de Heisenberg ( $\Delta x \Delta p > h$ )

## 2) Relatividad

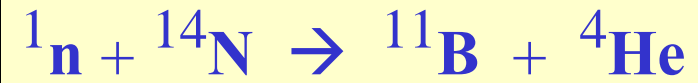
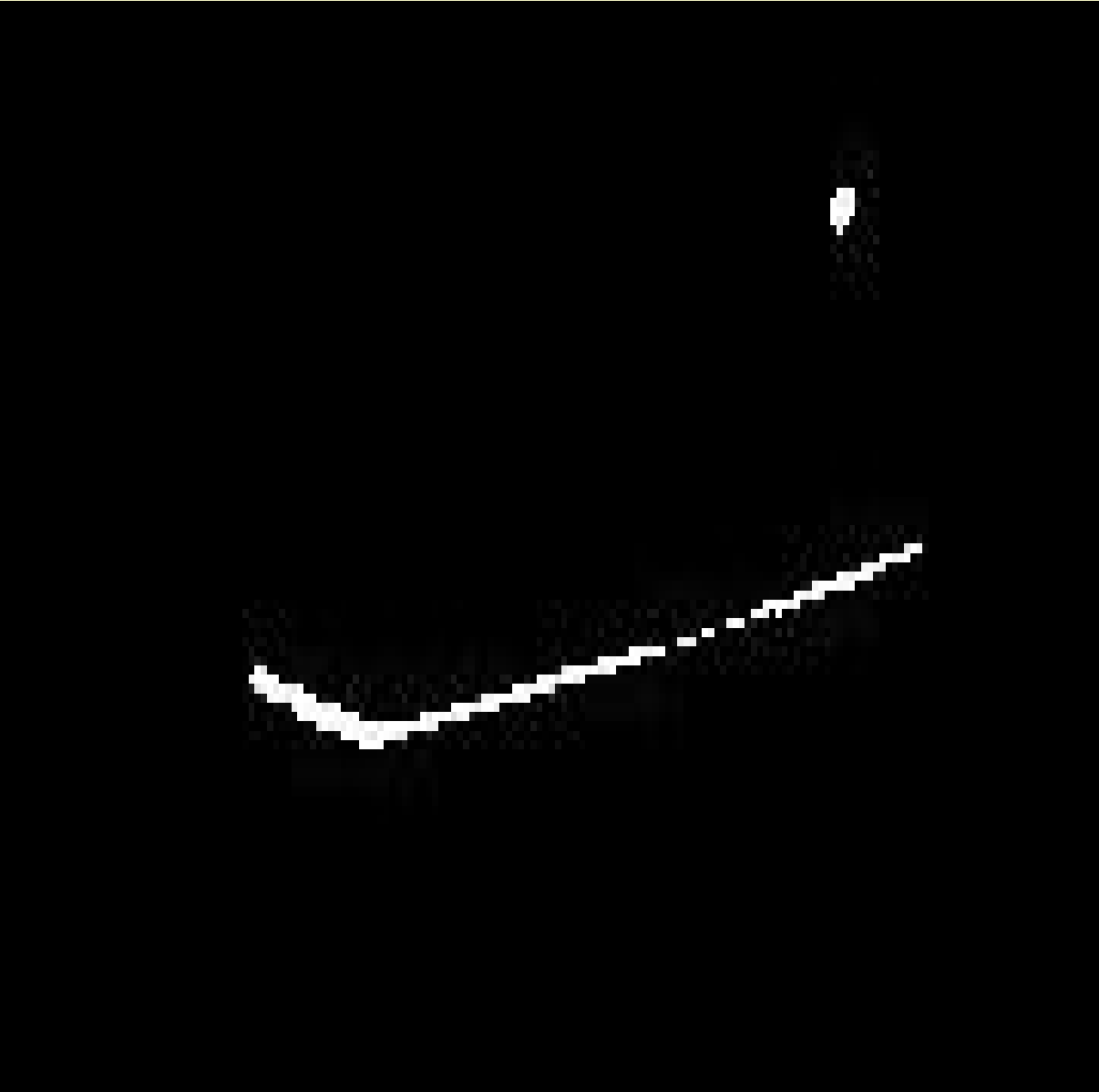
masa y energía equivalentes ( $E=mc^2$ )

# La relatividad de Einstein ( $E=mc^2$ )

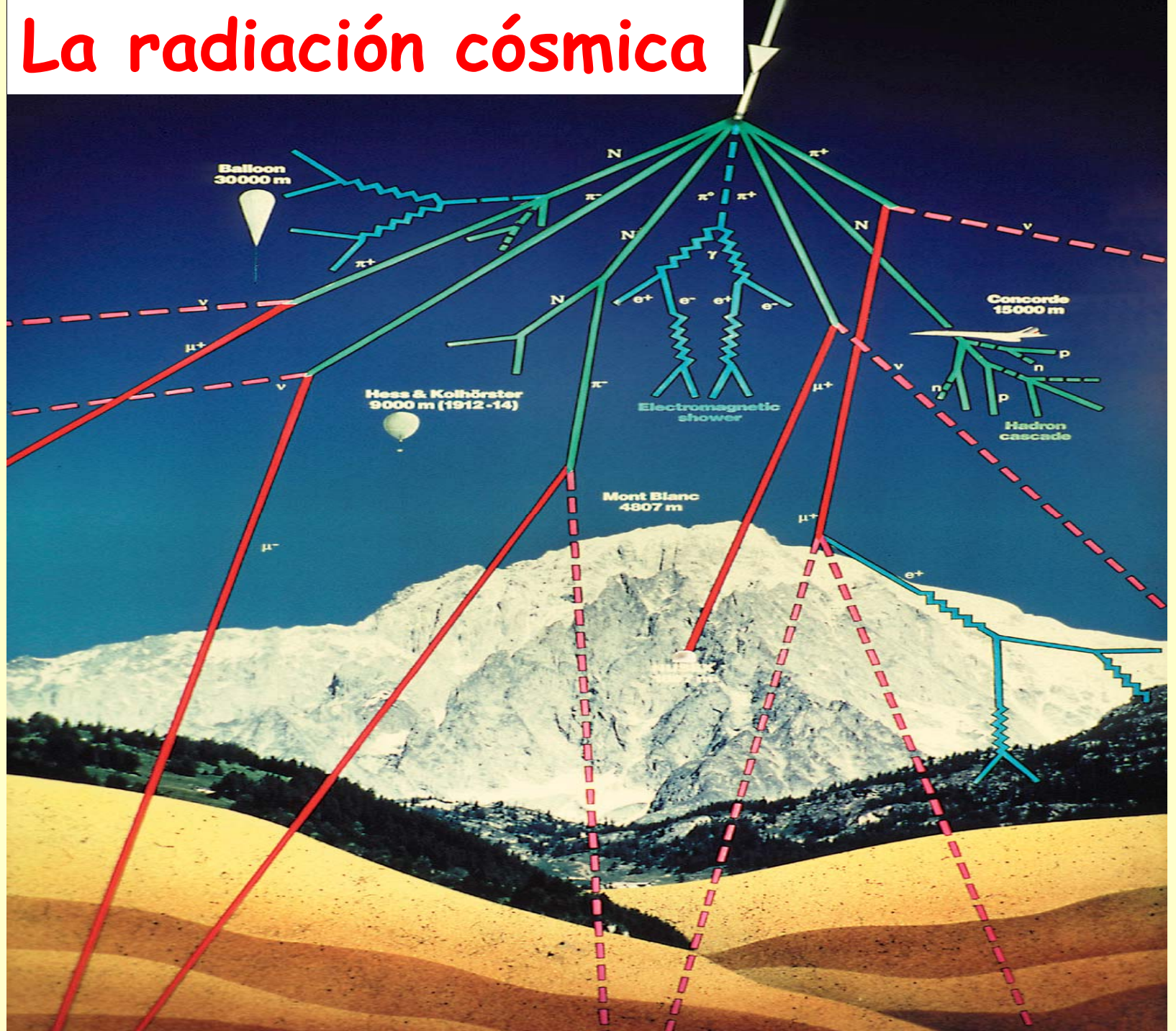


1. La energía puede transformarse en masas ( $p + p \rightarrow p+p+\pi+\pi$ )
2. Masas pueden aniquilarse dando energía ( $e^+ + e^- \rightarrow \gamma + \gamma$ )

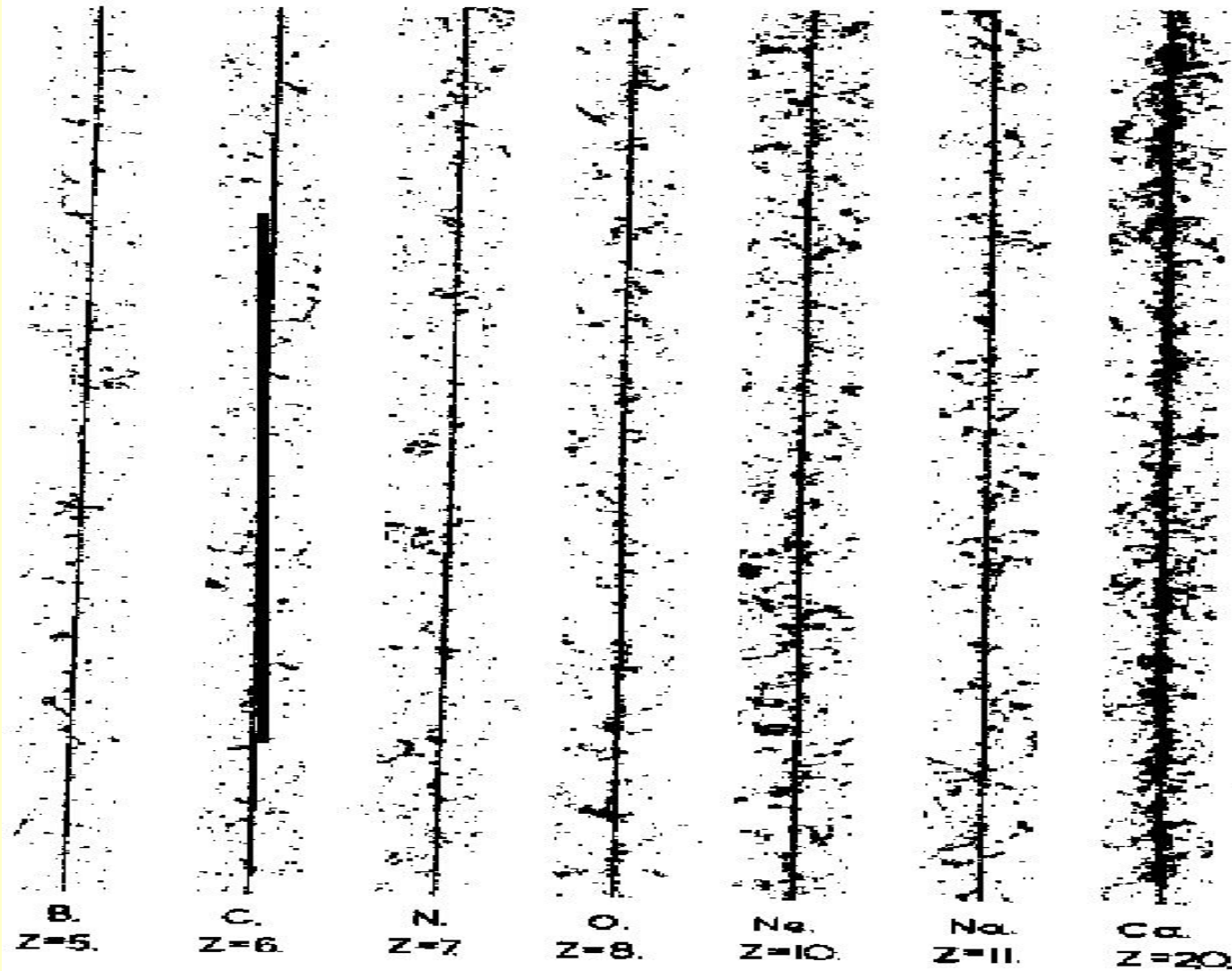
# Choque de un neutrón



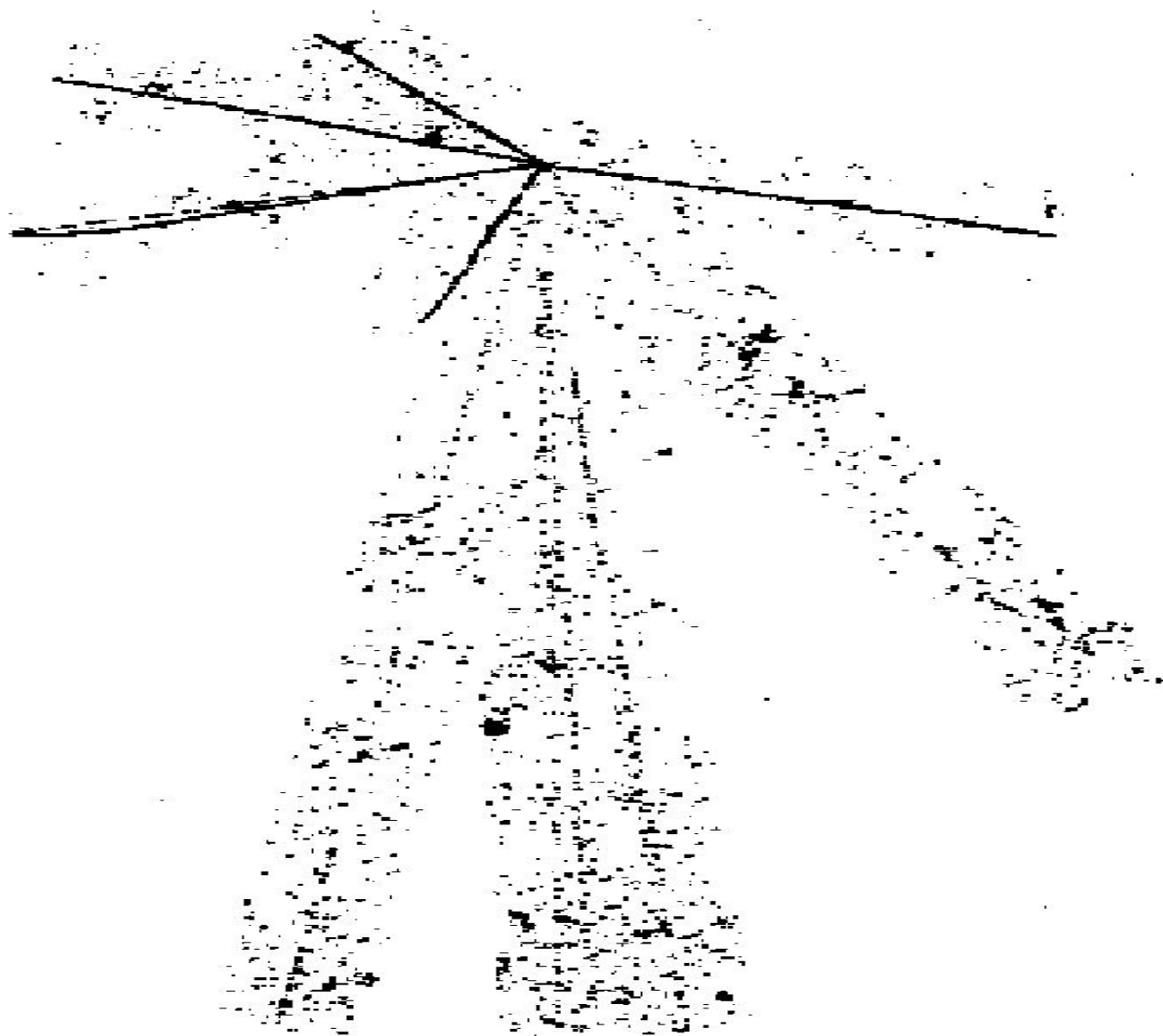
# La radiación cósmica



# Radiación cósmica (emulsiones fotográficas)

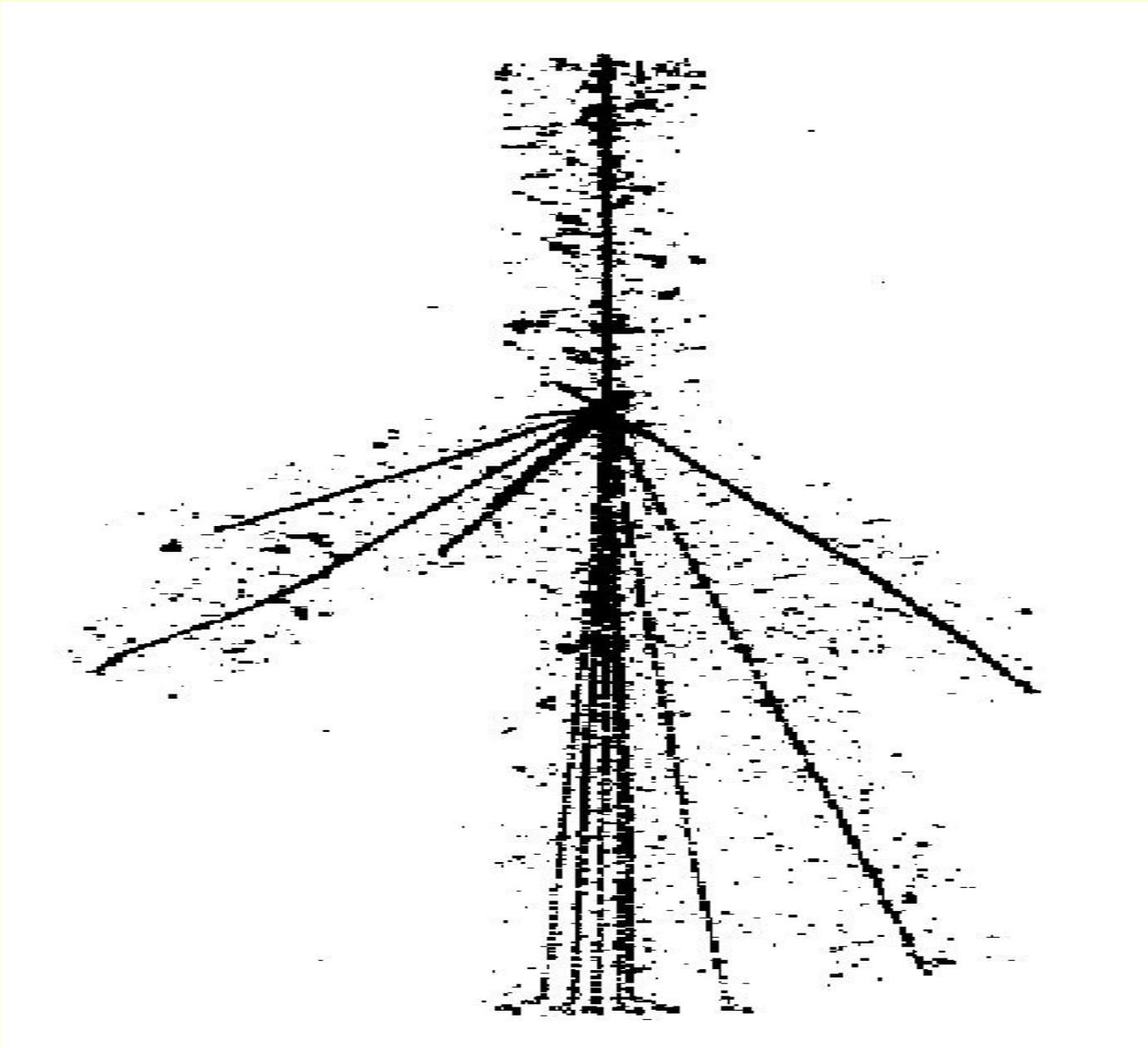


# Una estrella $n+N$

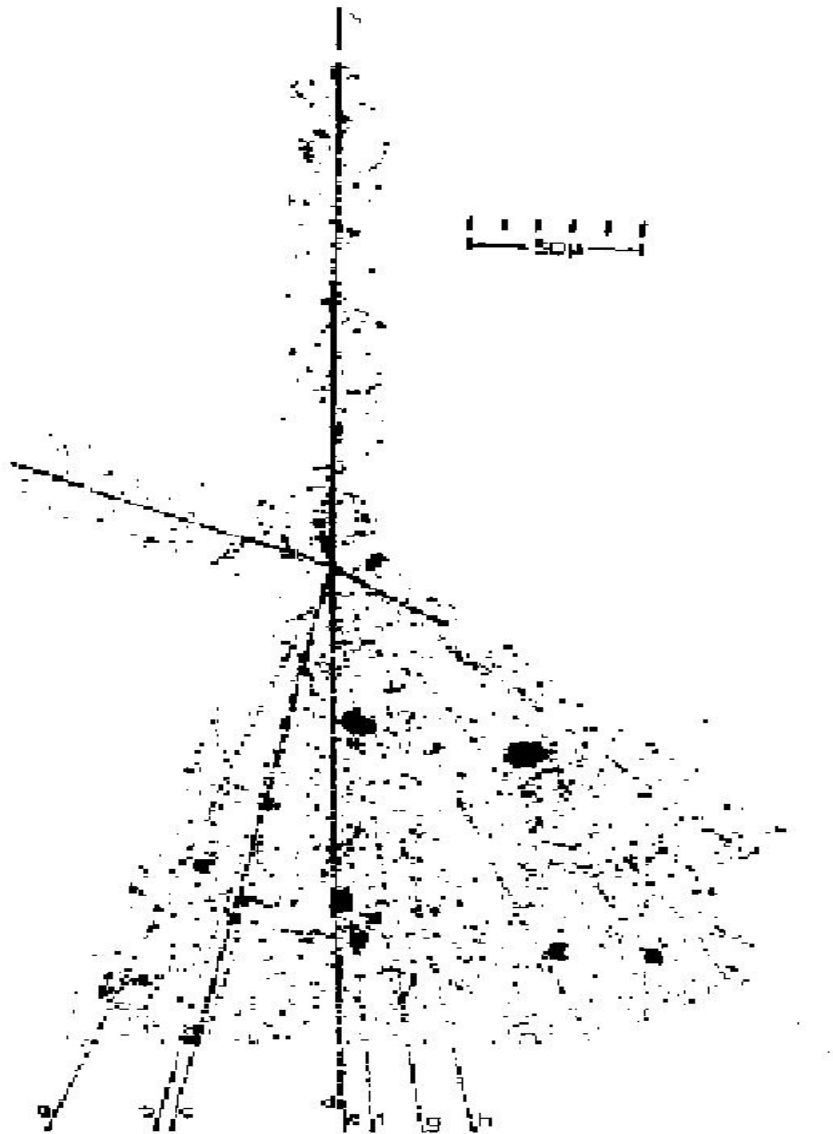




# *Colisión Al+N y se hacen añicos*



# Todo conocido

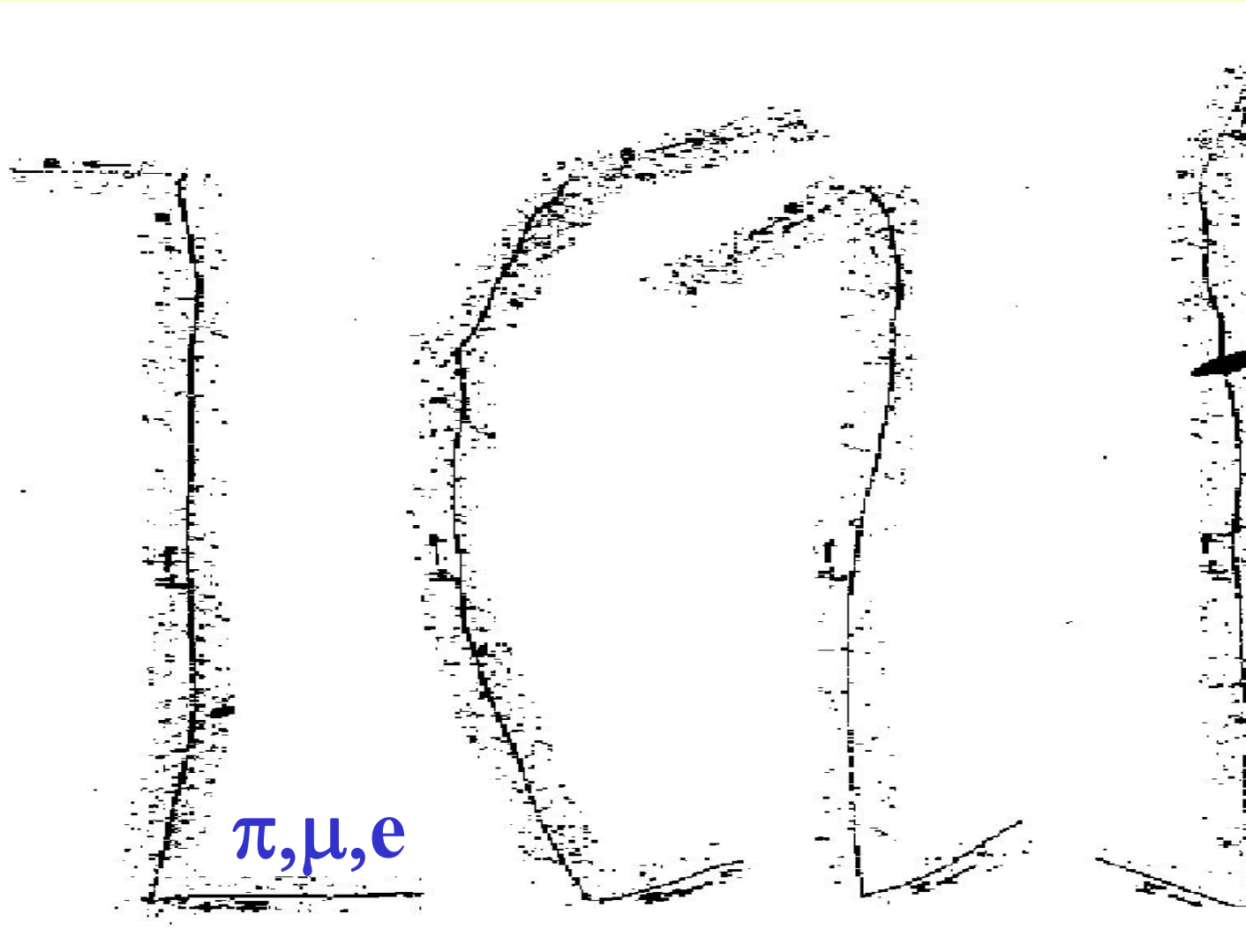


# Globos y emulsiones

7



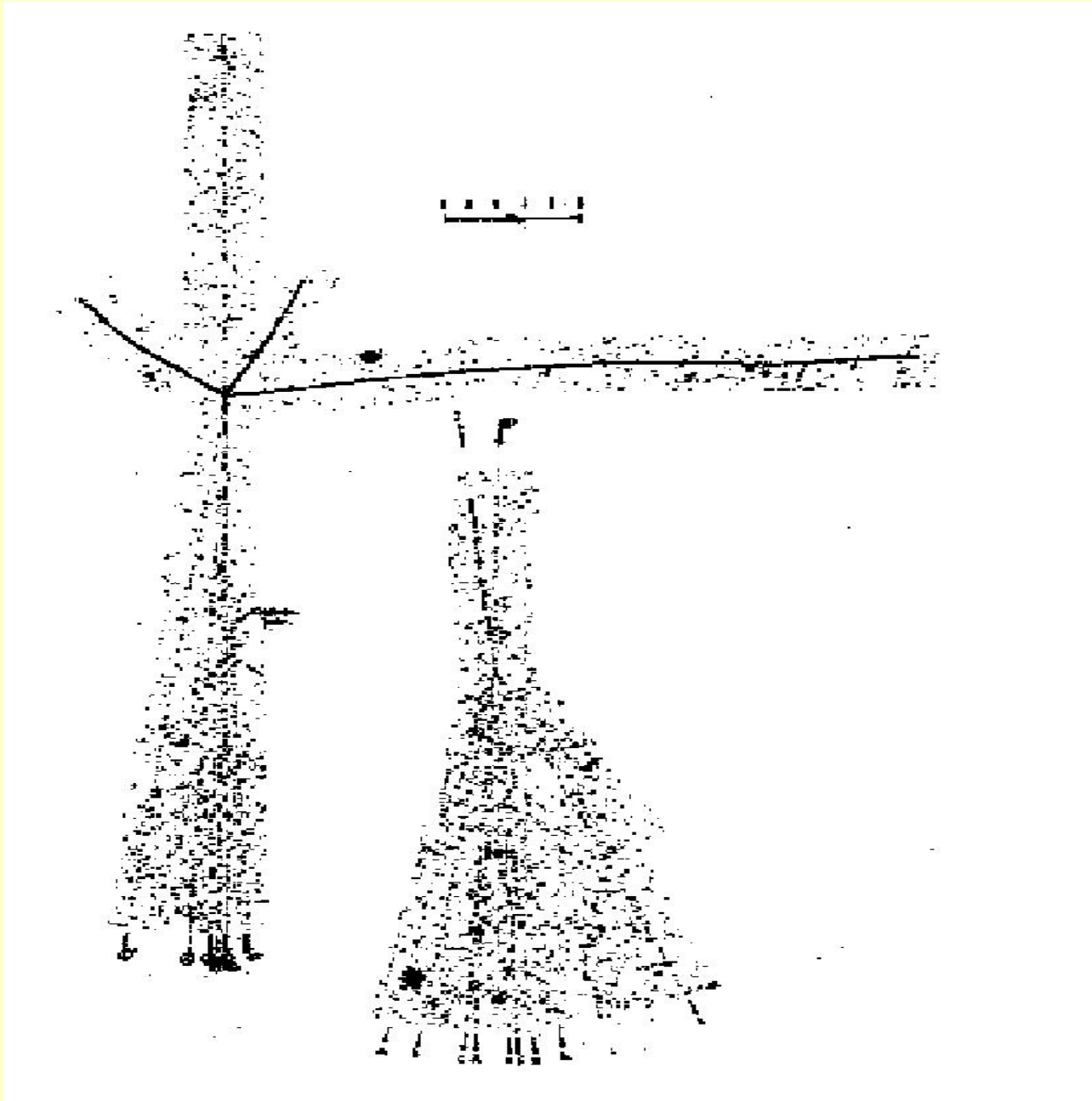
# Un nuevo estado de la materia (pión, $\pi$ )



$$m_{\pi} = 280 m_e$$

$$m_{\mu} = 210 m_e$$

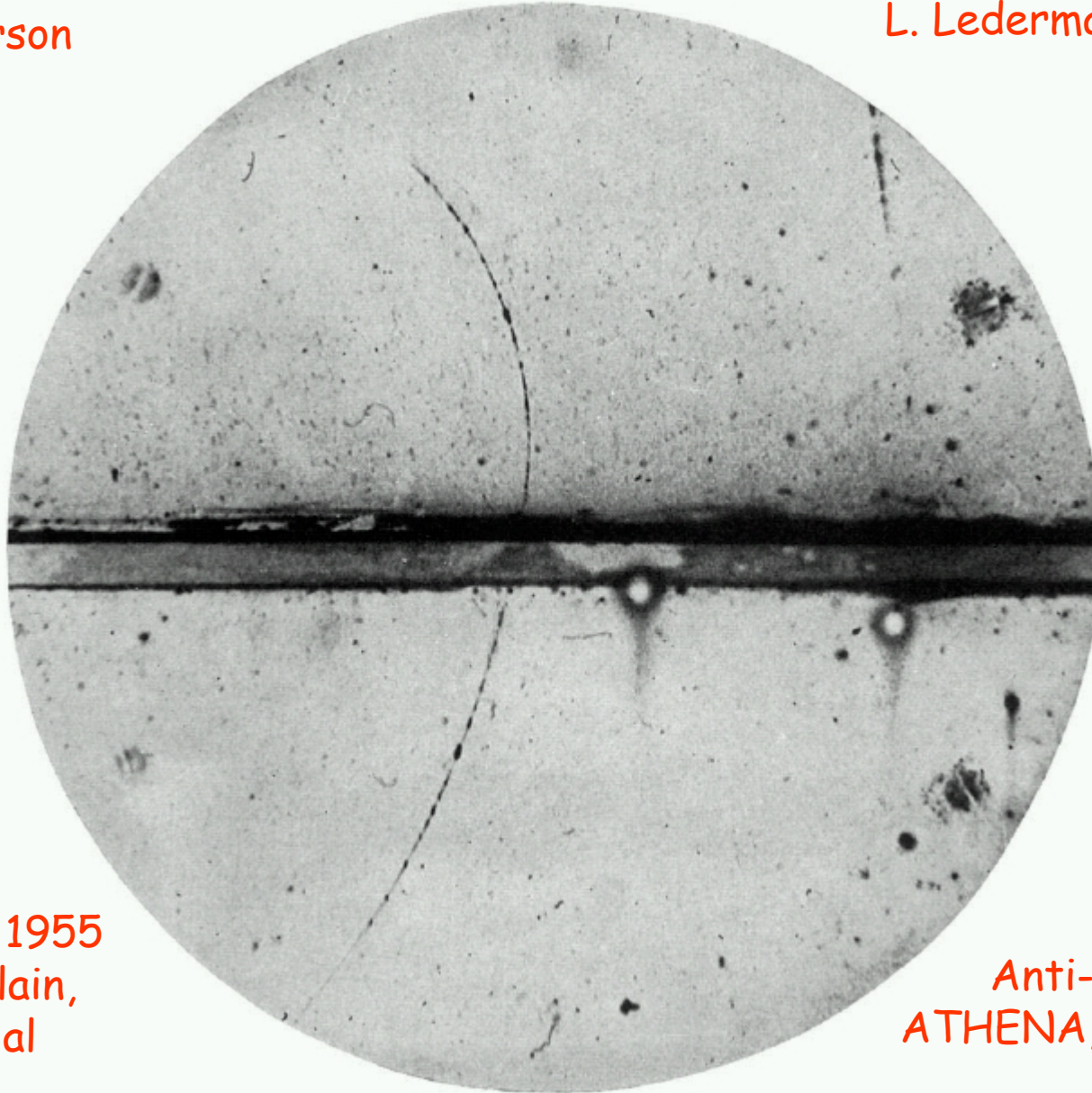
# Dos reacciones en una



# La antimateria

Positron, 1932  
C.D. Anderson

Antideuteron, 1965  
L. Lederman, S. Ting et al



Antiproton, 1955  
O. Chamberlain,  
E. Segrè et al

Anti-atoms, 2002  
ATHENA, ATRAP @ CERN

# Materia y Antimateria

Cada partícula tiene su antipartícula

$e^-$	----->	$e^+$ (positrón)
$p$	----->	anti- $p$
$n$	----->	anti- $n$

quarks	----->	anti-quarks
neutrinos	----->	anti-neutrinos

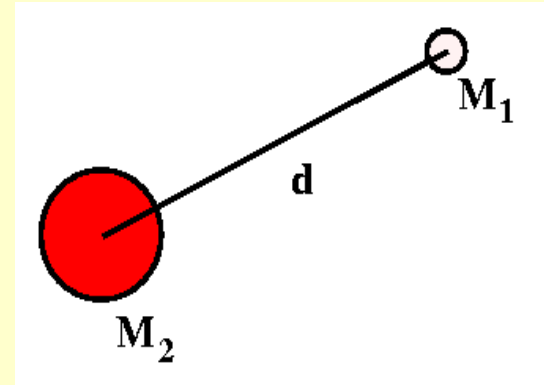
Cuando se crea una partícula,  
siempre le acompaña su antipartícula

# Las fuerzas entre constituyentes

Clásicamente: Acción a distancia

gravitación  $F = G_N m_1 m_2 / d^2$

electricidad  $F = G_C q_1 q_2 / d^2$

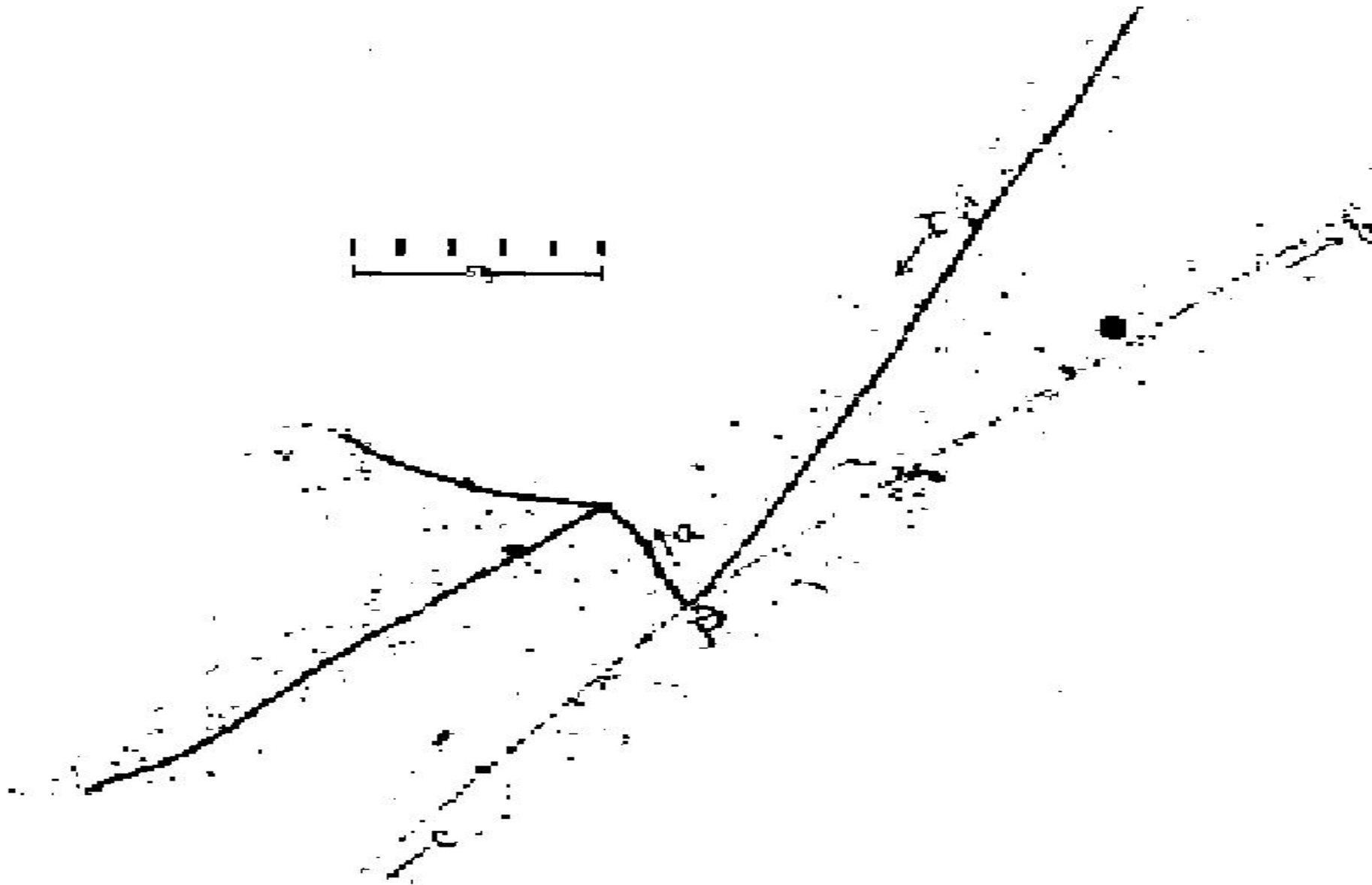


Cuánticamente: Fuerzas debido a intercambio de partículas

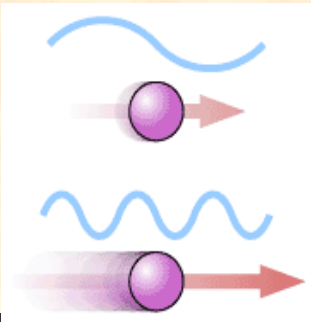
gravitación	gravitón	( $\epsilon$ )	masa
electricidad	fotón	( $\gamma$ )	carga eléctrica
radiactividad	bosones	$W^+, W^-, Z^0$	carga débil
fuerte (nuclear)	gluones	( $g$ )	color



# El $K$ , partícula *extraña*



# Los primeros aceleradores...



Los aceleradores son los  
Super-microscopios de la Física  
Nuclear y de Partículas:

$$\lambda \equiv \frac{h}{p}$$

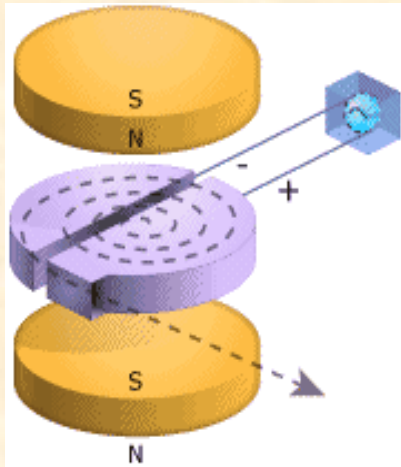
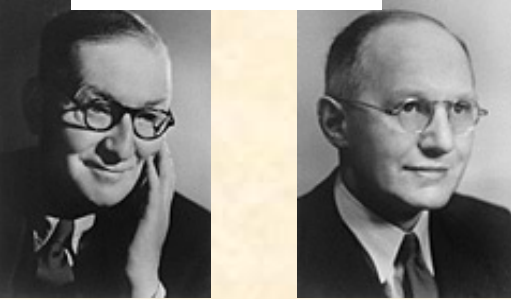
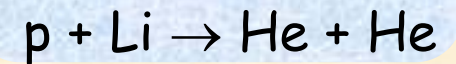
**Crookoft & Walton (PN1951)**

Primer acelerador.

Verificaron (500 kV):

- a) Efecto túnel
- b) Fórmula de Einstein  
 $E=mc^2$

1932 Primera  
Transmutación con  
protones

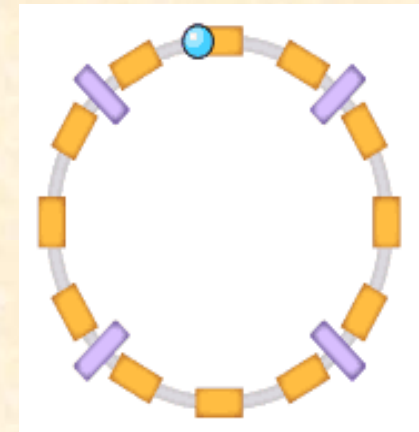


Ciclotrón



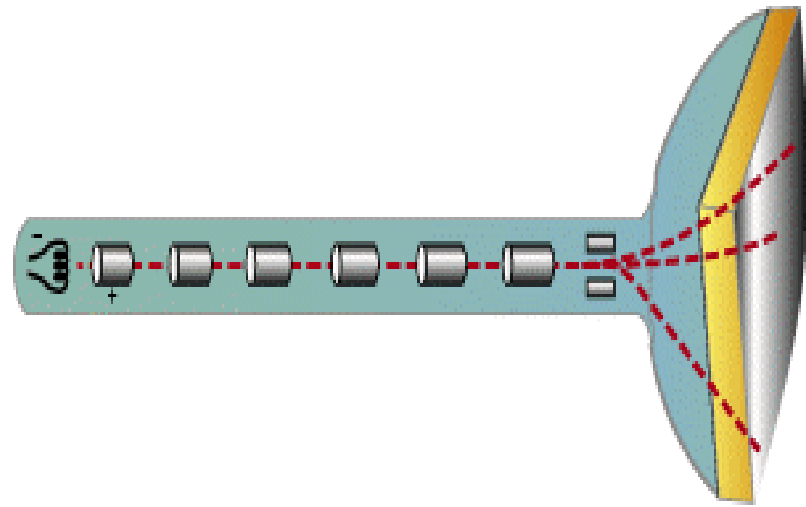
**Lawrence (PN 1939)**

ciclotrón: describen  
órbitas circulares:  
el mismo campo eléctrico  
repetidas veces



Sincrotrón

El ejemplo más sencillo: un  
Televisor.

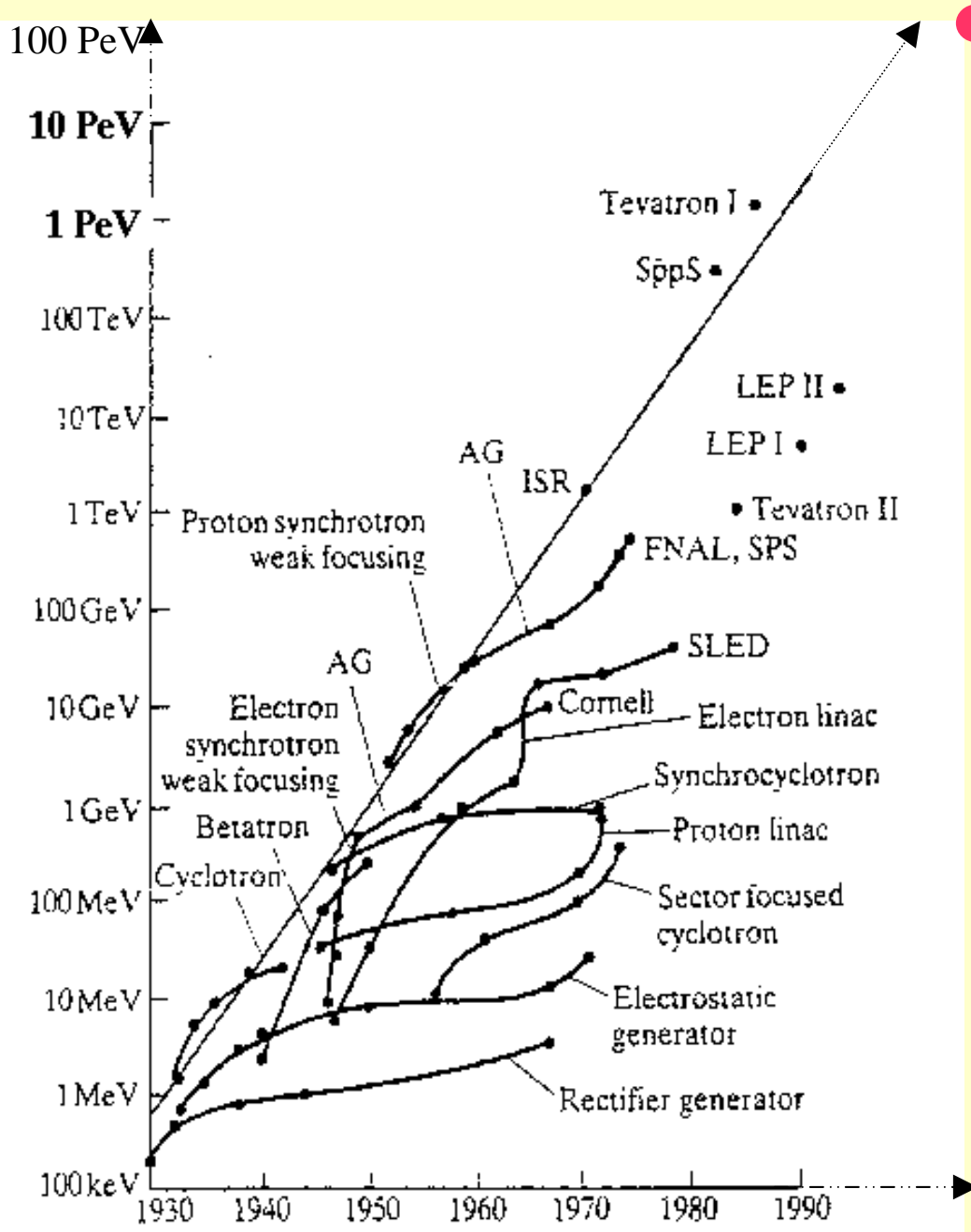


Precursor:

El tubo de rayos catódicos  
de Thomson (e<sup>-</sup>)

Partes de un acelerador:

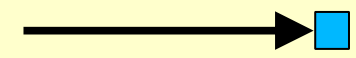
- Fuente de iones (partículas),
- Cavity aceleradora,
- Imanes (curvan y focalizan),
- Tubo de vacío,
- Detector (pantalla luminiscente)



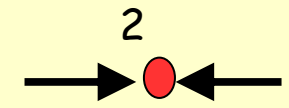
● LHC

# La evolución de los grandes aceleradores

(La figura de Livingston)



$$W^2 = m_1^2 + m_2^2 + 2E_1 m$$

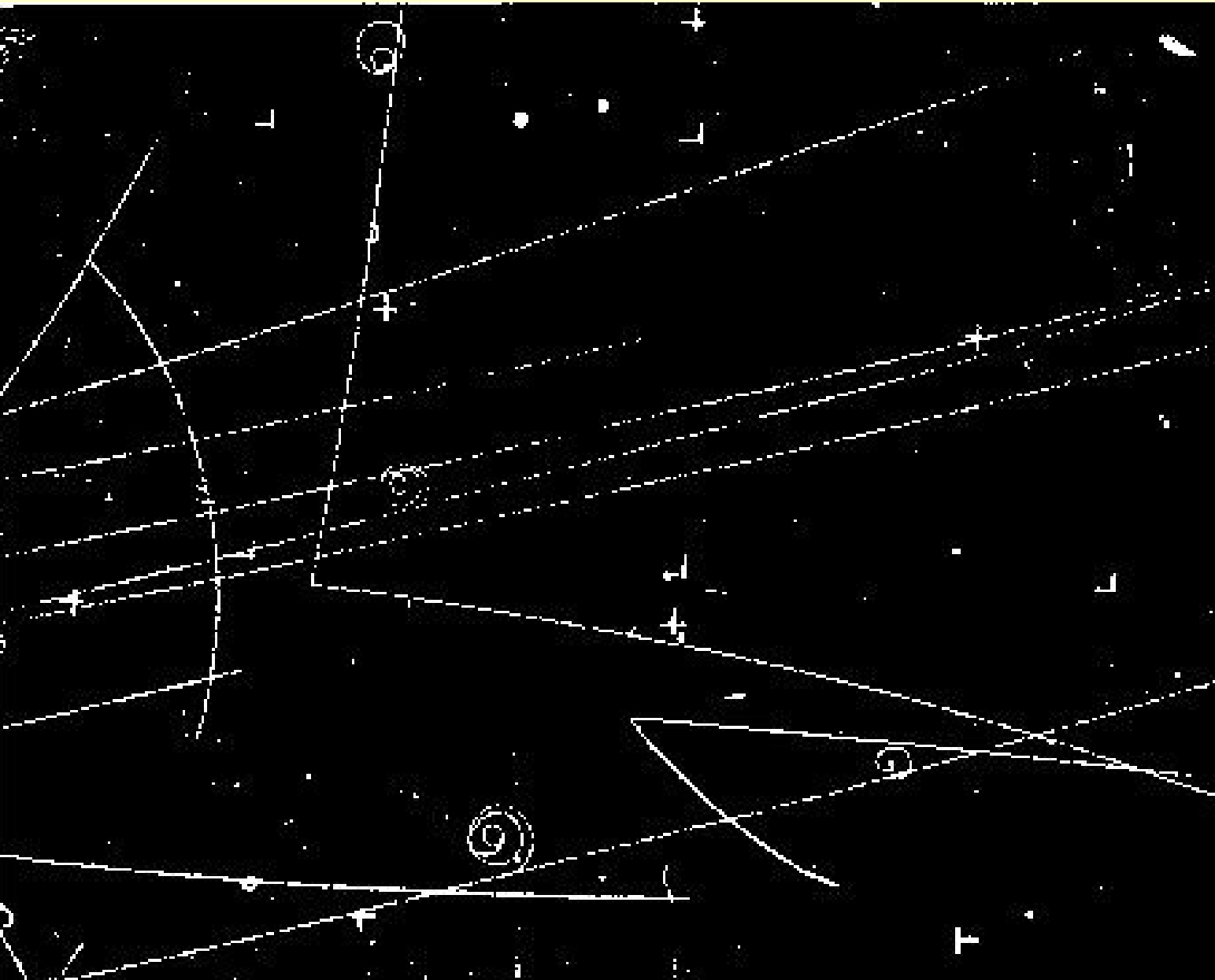


$$W^2 = 4 E^2$$

# El túnel del colisionador LEP



# La *extrañeza*, un nuevo número cuántico



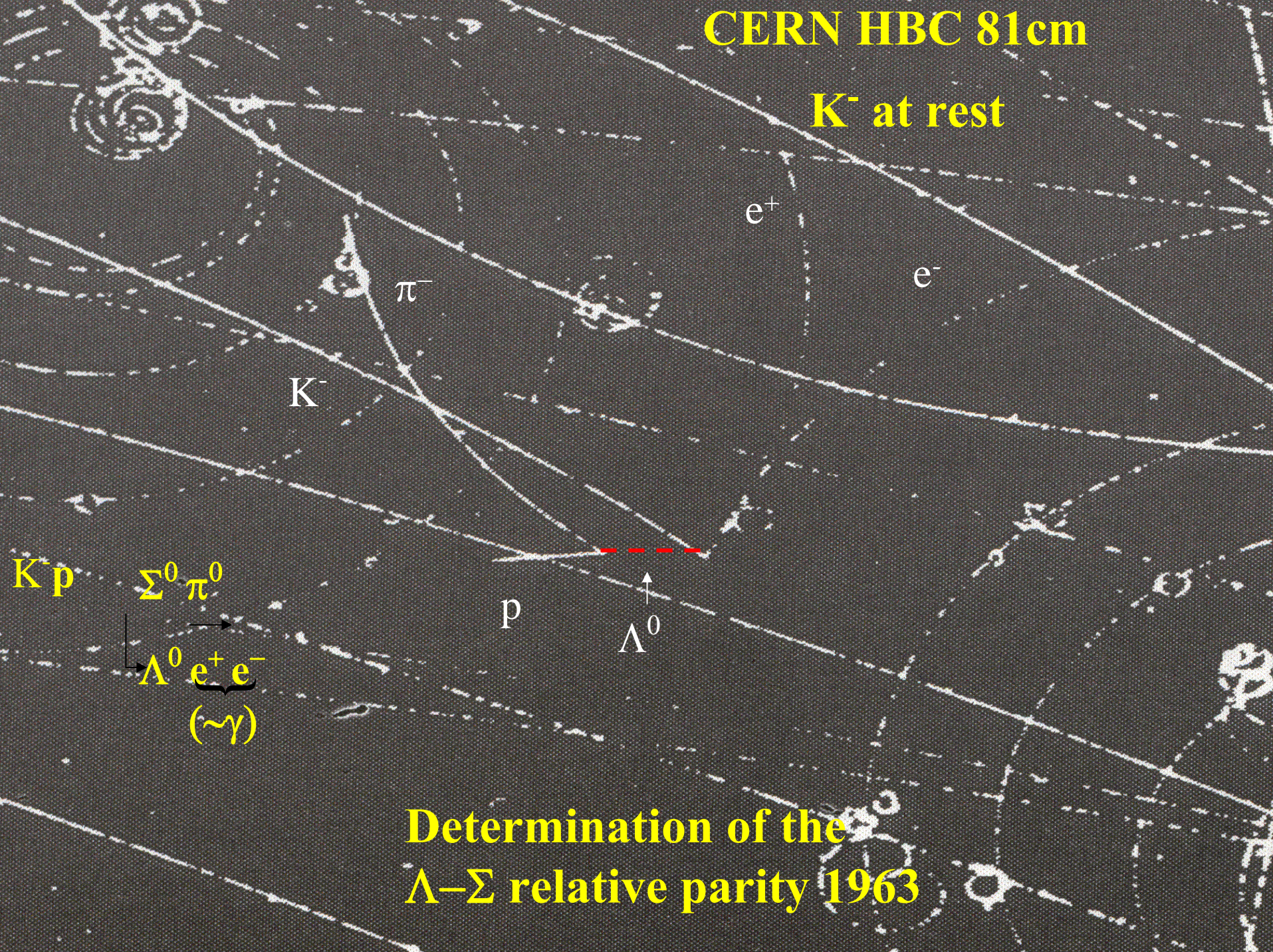
L. Alvarez  
(HBC)

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

1 GeV/c

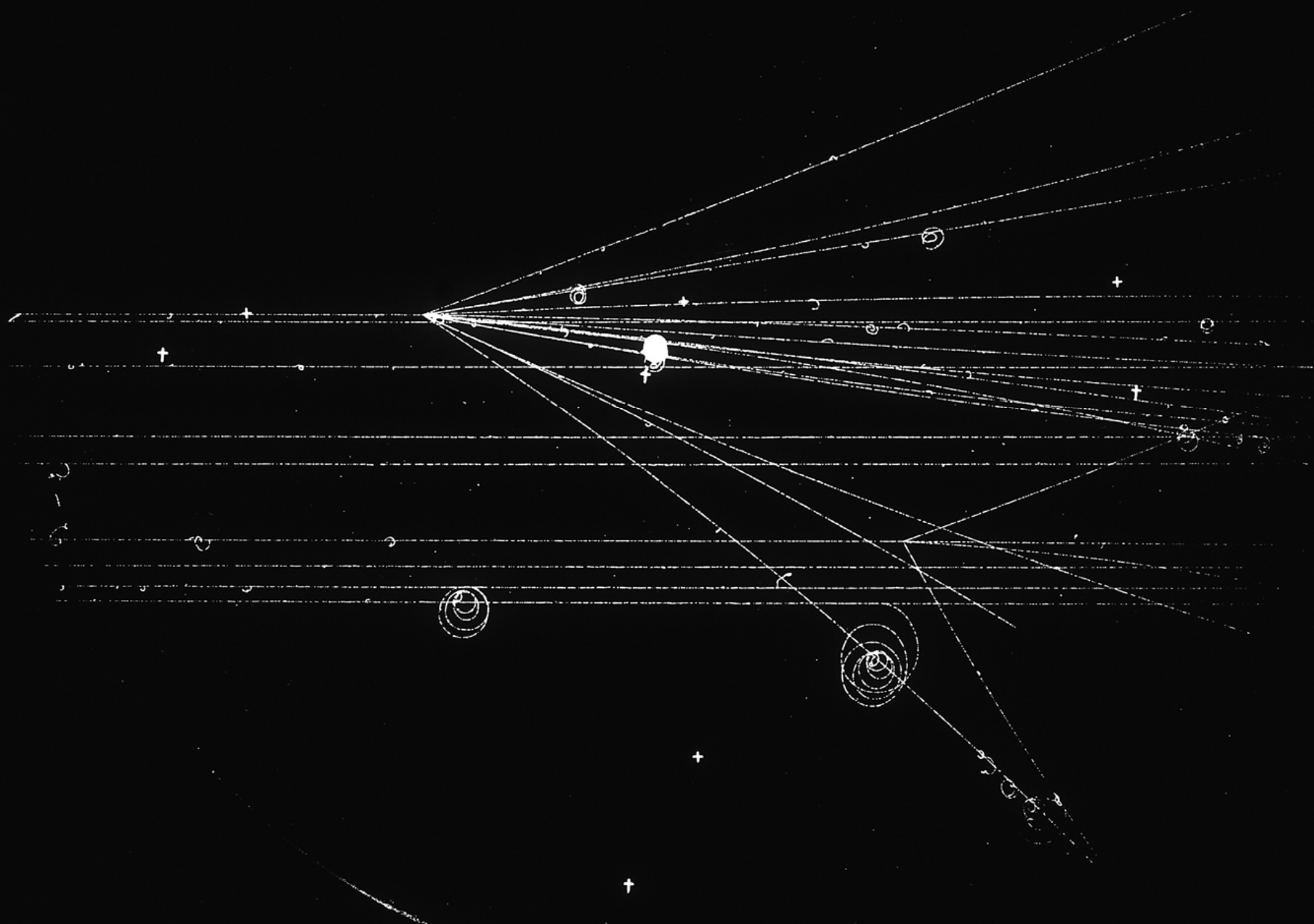
CERN HBC 81cm

$K^-$  at rest



$K^- p$   
 $\Sigma^0 \pi^0$   
 $\Lambda^0 e^+ e^-$   
 $(\sim \gamma)$

Determination of the  
 $\Lambda$ - $\Sigma$  relative parity 1963





# El zoo de las partículas

Con el estudio de la radiación cósmica se descubre una plétora de partículas...

$e^+, \mu^+, \mu^-, \pi^+, \pi^-, K^+, K^-, \Lambda^0, \Sigma^+, \Sigma^-, \Xi^-, \Xi^0, \dots$

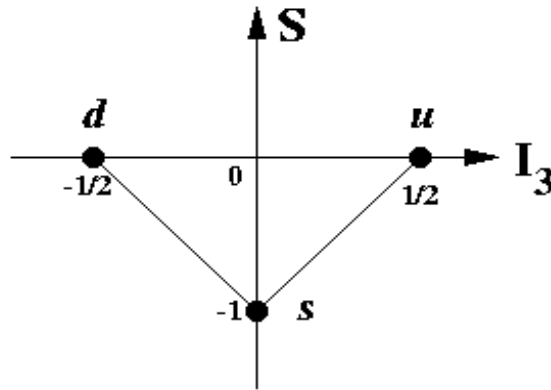
*Los experimentos con los aceleradores confirman estas partículas. Además...*

- 1) La **antimateria** ( $e^+$ )
- 2) El **muón** (hermano del electrón) -> *leptones*
- 3) El **pión** y otros de naturaleza parecida:

*Se postulan los quarks.*

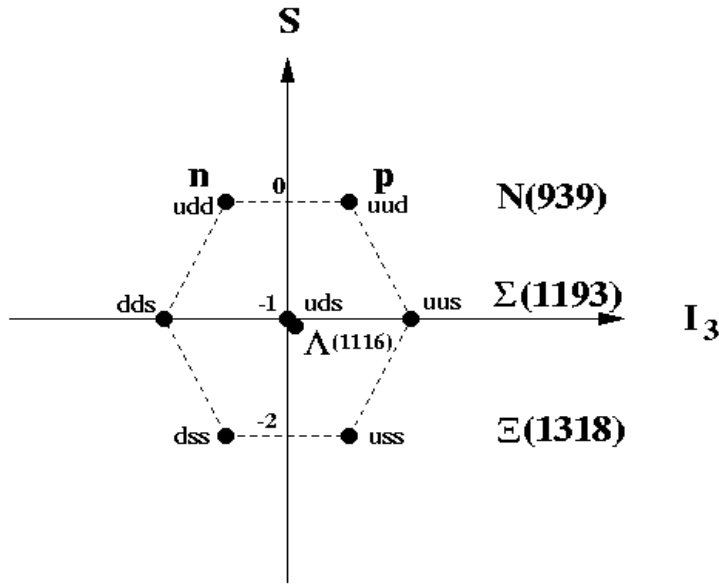
# El origen de los *quarks* (hadrones hechos de *quarks*)

$q \bar{q} = \text{mesones}$   
 $3 \times 3 = 8 + 1$

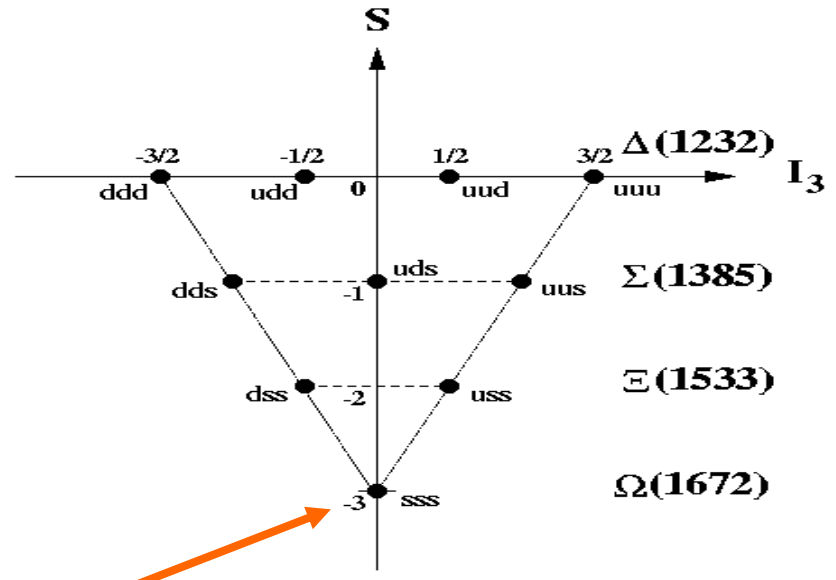


$q q q = \text{bariones}$   
 $3 \times 3 \times 3 = 10 + 8 + 8 + 1$

3

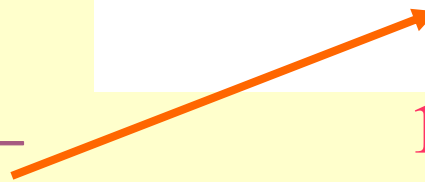


8

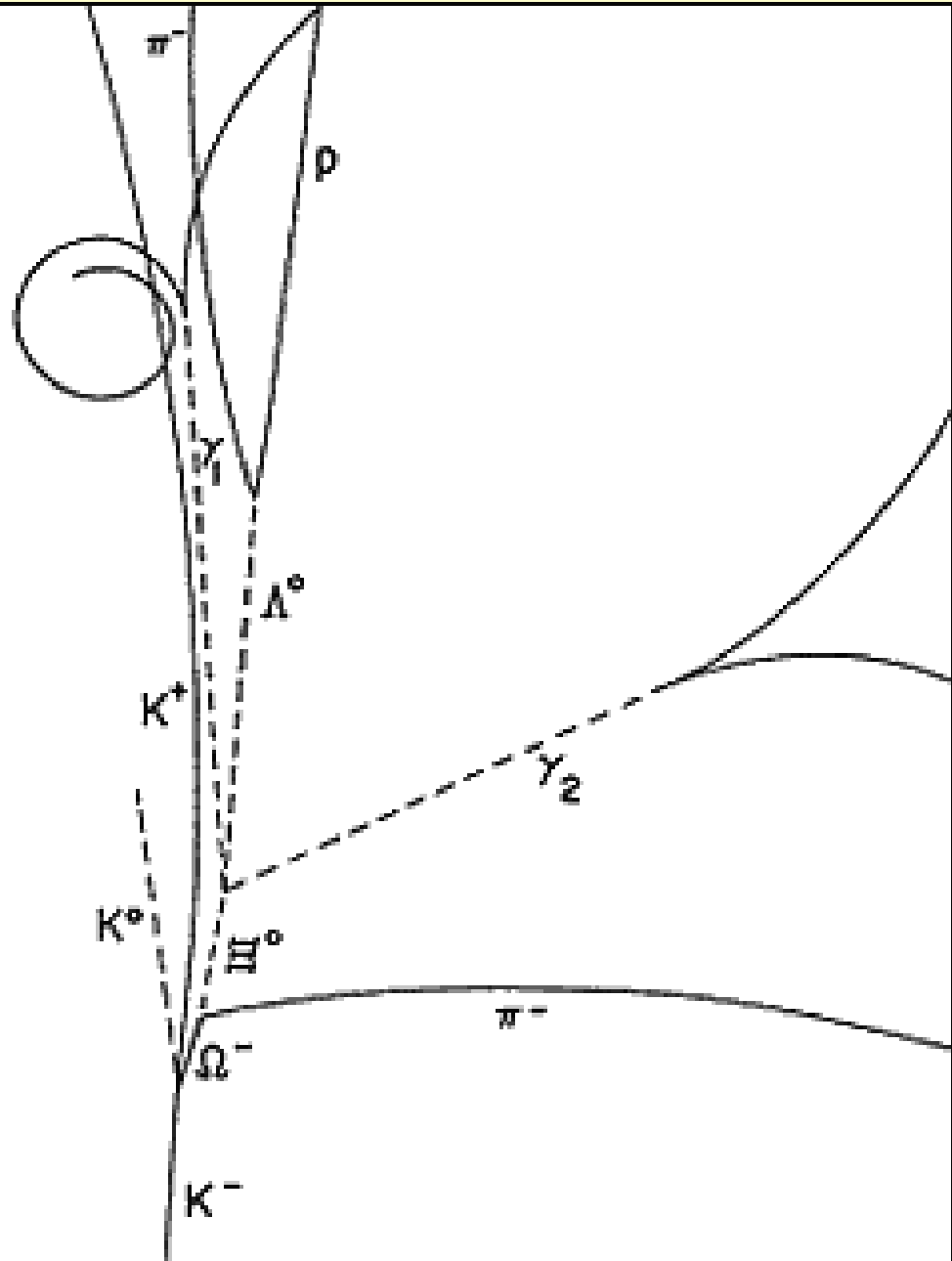
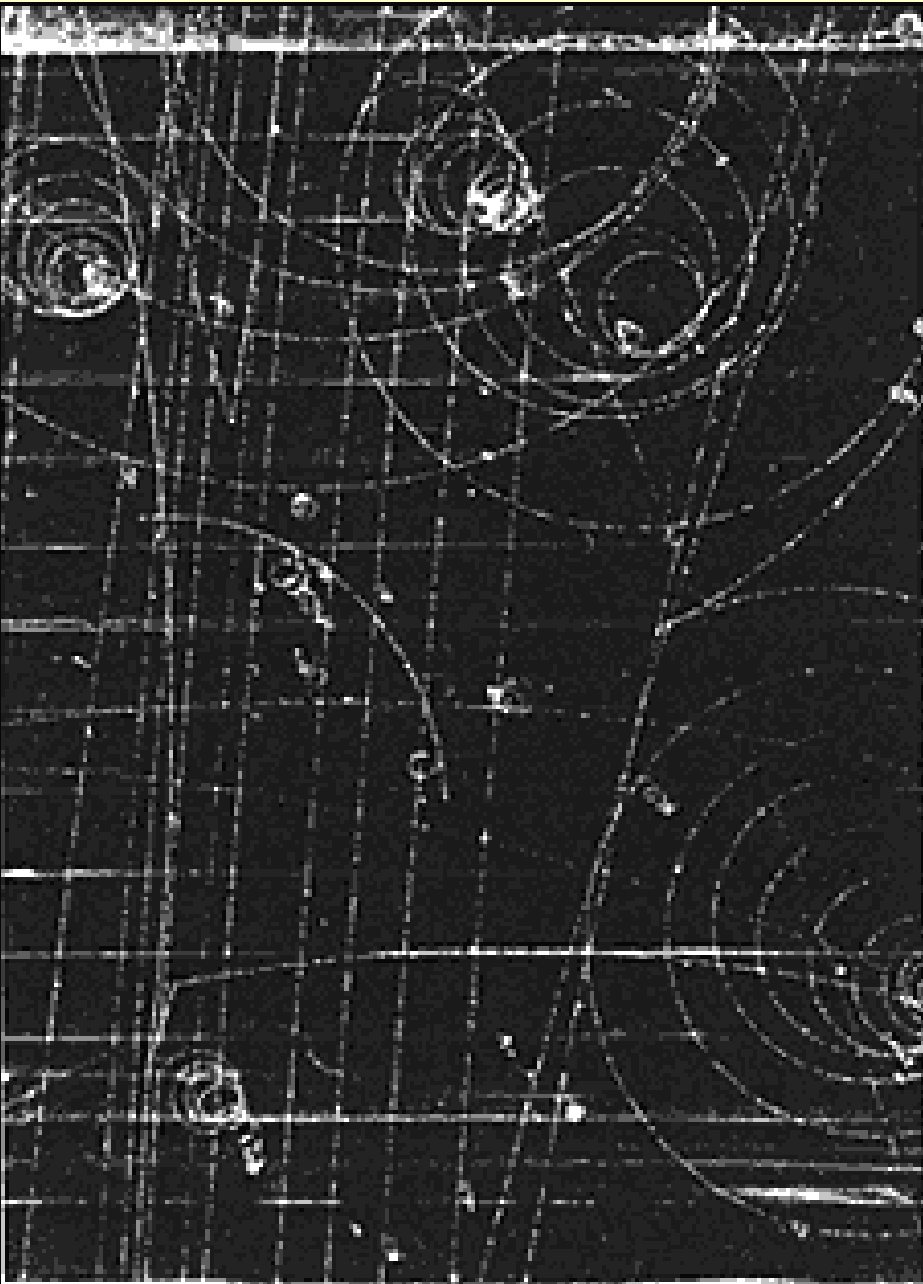


10

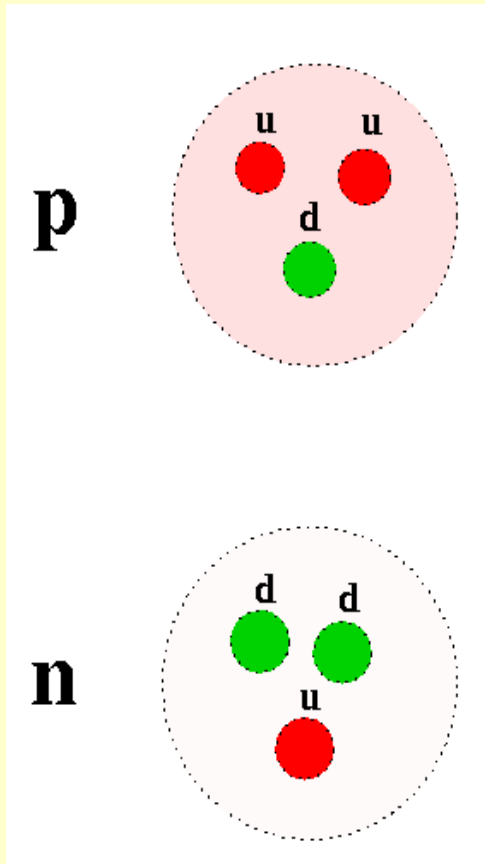
$\Omega^-$



# El descubrimiento del Omega: $K^- p \rightarrow \Omega^- K^+ K^0$



# Protón y Neutrón (Bariones)



Los *bariones* están compuestos por 3 quarks

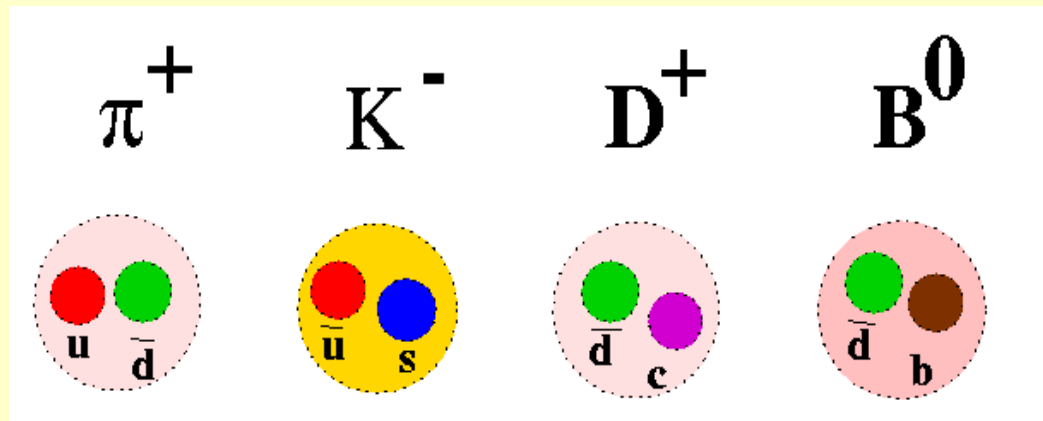
(Los *antibariones* por 3 antiquarks)

# Mesones

Los otros hadrones, que no son bariones se llaman *mesones*.

Ejemplos: *pión*, *kaón*, *mesón D*, *mesón B*.

Están compuestos por un par *quark-antiquark*



# Tabla periódica de los Elementos

1 <b>H</b>																	2 <b>He</b>		
3 <b>Li</b>	4 <b>Be</b>											5 <b>B</b>	6 <b>C</b>	7 <b>N</b>	8 <b>O</b>	9 <b>F</b>	10 <b>Ne</b>		
11 <b>Na</b>	12 <b>Mg</b>	III B	IV B	V B	VI B	VII B	— VII —					IB	IB	13 <b>Al</b>	14 <b>Si</b>	15 <b>P</b>	16 <b>S</b>	17 <b>Cl</b>	18 <b>Ar</b>
19 <b>K</b>	20 <b>Ca</b>	21 <b>Sc</b>	22 <b>Ti</b>	23 <b>V</b>	24 <b>Cr</b>	25 <b>Mn</b>	26 <b>Fe</b>	27 <b>Co</b>	28 <b>Ni</b>	29 <b>Cu</b>	30 <b>Zn</b>	31 <b>Ga</b>	32 <b>Ge</b>	33 <b>As</b>	34 <b>Se</b>	35 <b>Br</b>	36 <b>Kr</b>		
37 <b>Rb</b>	38 <b>Sr</b>	39 <b>Y</b>	40 <b>Zr</b>	41 <b>Nb</b>	42 <b>Mo</b>	43 <b>Tc</b>	44 <b>Ru</b>	45 <b>Rh</b>	46 <b>Pd</b>	47 <b>Ag</b>	48 <b>Cd</b>	49 <b>In</b>	50 <b>Sn</b>	51 <b>Sb</b>	52 <b>Te</b>	53 <b>I</b>	54 <b>Xe</b>		
55 <b>Cs</b>	56 <b>Ba</b>	57 <b>*La</b>	72 <b>Hf</b>	73 <b>Ta</b>	74 <b>W</b>	75 <b>Re</b>	76 <b>Os</b>	77 <b>Ir</b>	78 <b>Pt</b>	79 <b>Au</b>	80 <b>Hg</b>	81 <b>Tl</b>	82 <b>Pb</b>	83 <b>Bi</b>	84 <b>Po</b>	85 <b>At</b>	86 <b>Rn</b>		
87 <b>Fr</b>	88 <b>Ra</b>	89 <b>+Ac</b>	104 <b>Rf</b>	105 <b>Db</b>	106 <b>Sg</b>	107 <b>Bh</b>	108 <b>Hs</b>	109 <b>Mt</b>	110 <b>Ds</b>	111	112								

Naming conventions of new elements

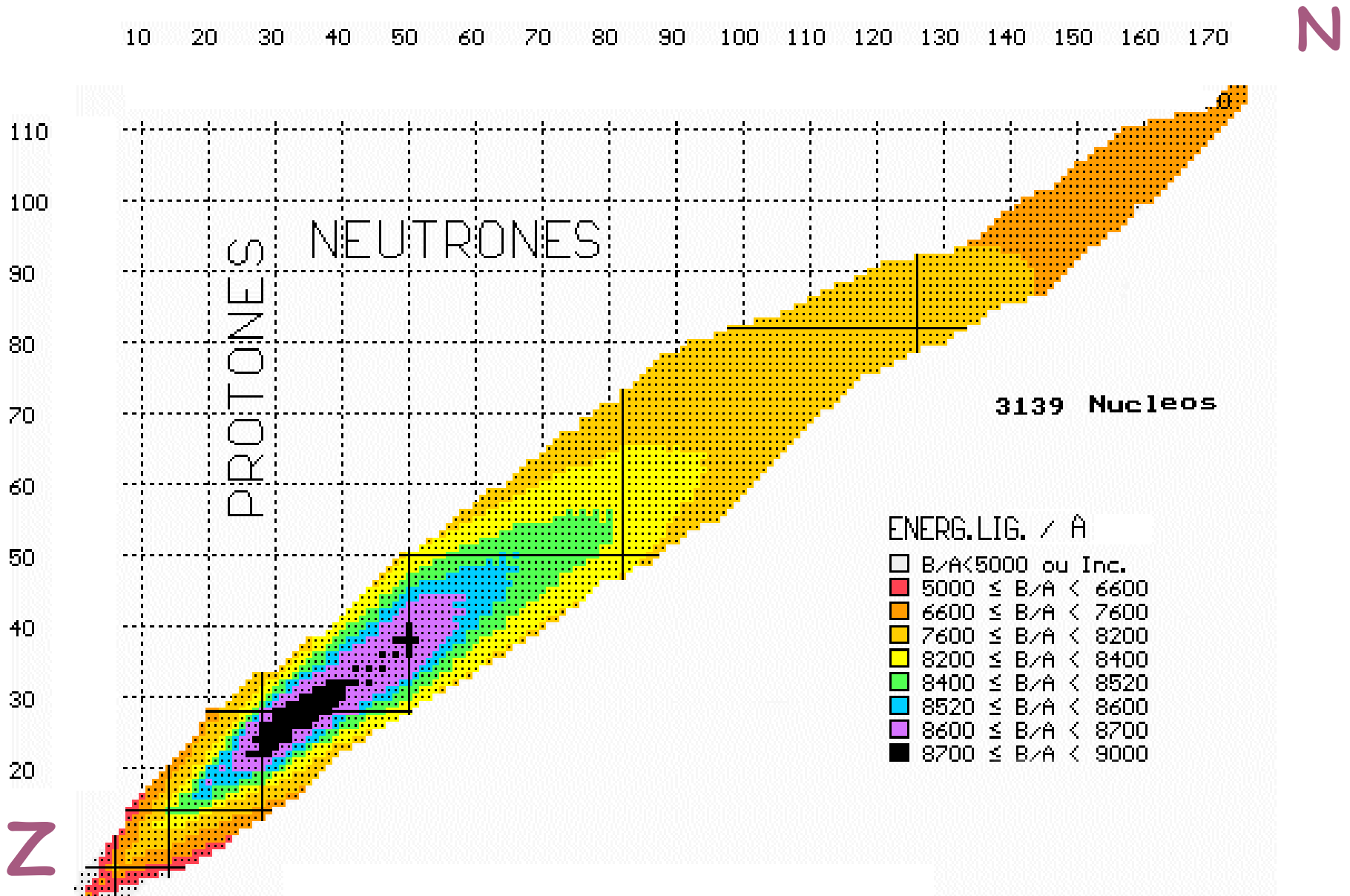
\* Lanthanide Series

58 <b>Ce</b>	59 <b>Pr</b>	60 <b>Nd</b>	61 <b>Pm</b>	62 <b>Sm</b>	63 <b>Eu</b>	64 <b>Gd</b>	65 <b>Tb</b>	66 <b>Dy</b>	67 <b>Ho</b>	68 <b>Er</b>	69 <b>Tm</b>	70 <b>Yb</b>	71 <b>Lu</b>
-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

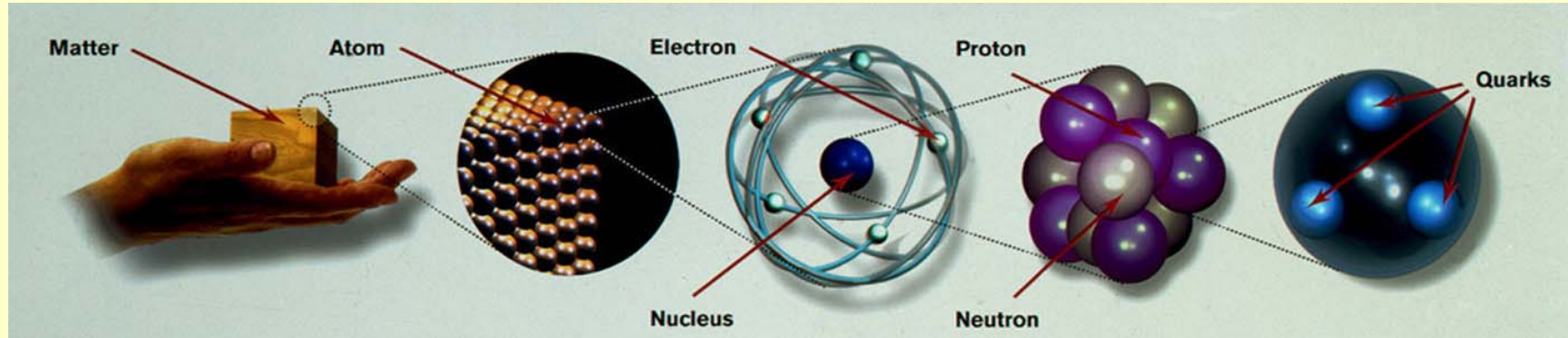
+ Actinide Series

90 <b>Th</b>	91 <b>Pa</b>	92 <b>U</b>	93 <b>Np</b>	94 <b>Pu</b>	95 <b>Am</b>	96 <b>Cm</b>	97 <b>Bk</b>	98 <b>Cf</b>	99 <b>Es</b>	100 <b>Fm</b>	101 <b>Md</b>	102 <b>No</b>	103 <b>Lr</b>
-----------------	-----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	------------------	------------------	------------------	------------------

# La tabla de núcleos



# La Materia está hecha de átomos



Los átomos están hechos de leptones y quarks

$$\text{Leptones} \begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix} + \mu$$

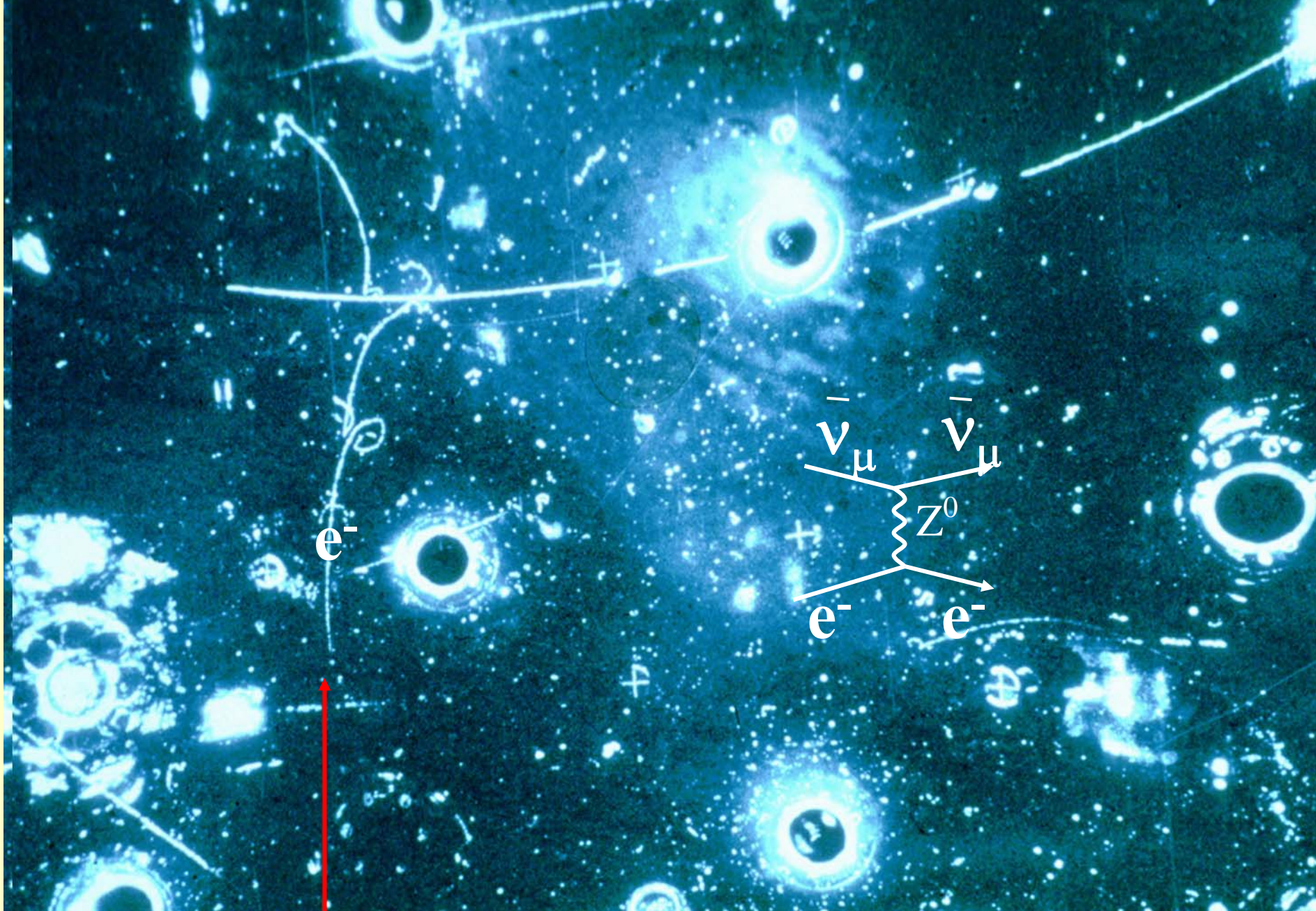
$$\text{Quarks} \begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix} + s$$



# Conclusiones

## La física de partículas en los años 50-60...

- La estructura atómica queda clara
- La estructura nuclear bien conocida
- El mundo de los quarks aparece, pero queda camino por recorrer...



$$\bar{\nu}_\mu e^- \longrightarrow \bar{\nu}_\mu e^-$$

El segundo neutrino