

El núcleo y sus radiaciones

Departamento de Física
Fac.Cs.Exactas, UNLP

2024

Prof. Laura C.Damonte (damonte@fisica.unlp.edu.ar)

JTP: Javier Martínez (jmartinez@fisica.unlp.edu.ar)

Objetivos

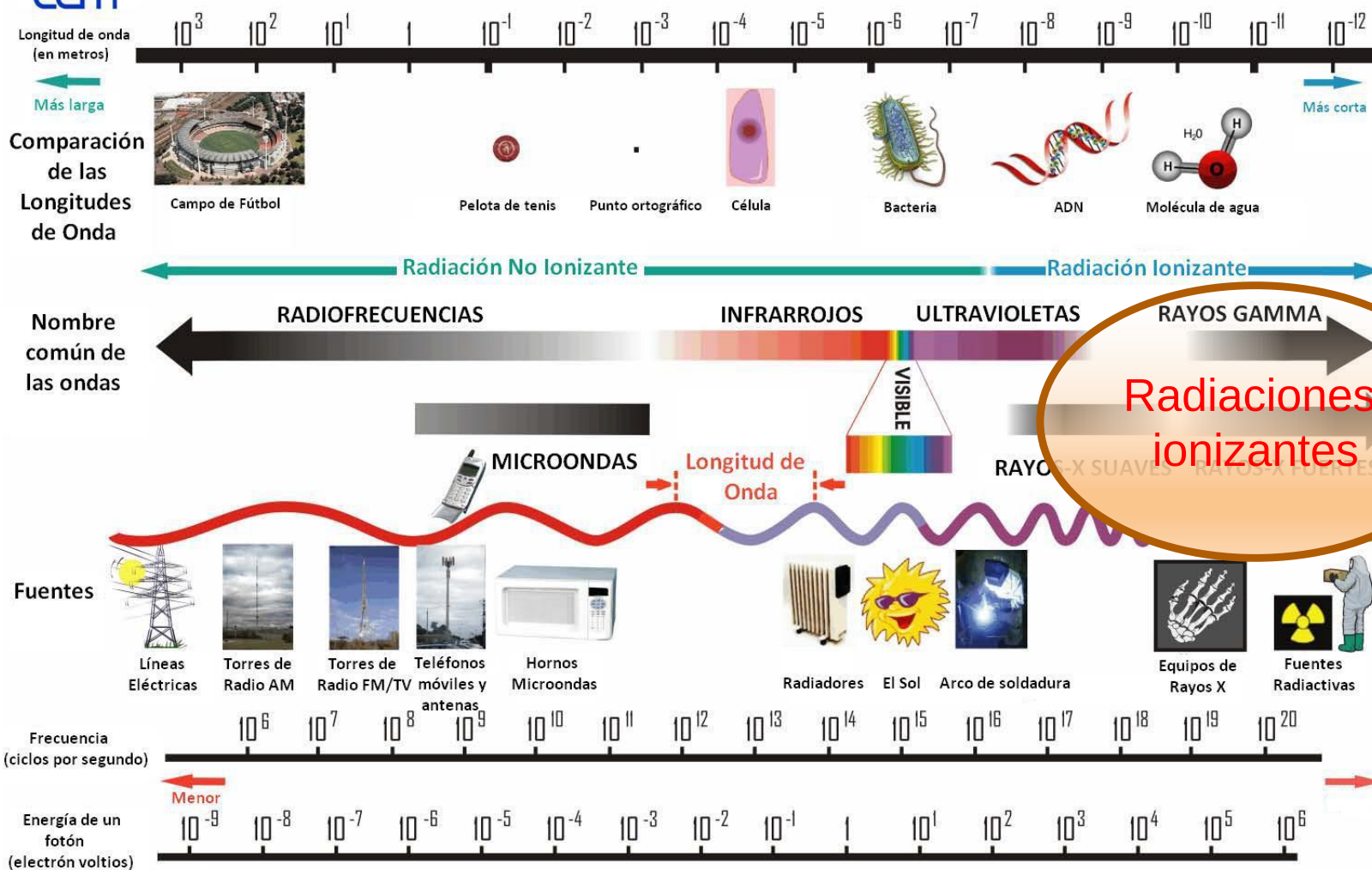
- Conocer las propiedades de los núcleos atómicos: radio, densidad, momentos nucleares eléctricos y magnéticos.
- Dependencia de la energía de ligadura de los nucleones con el número de protones y neutrones (nos. mágicos).
- Estabilidad nuclear  radiactividad

El núcleo y sus radiaciones

- El conocimiento de la materia se ha obtenido de la física atómica, nuclear y de partículas.
- Métodos, conceptos y modelos de naturaleza empírica.
- El descubrimiento de la radioactividad natural ha sido una verdadera revolución del pensamiento científico, que alteró a fondo la comprensión del universo y la evolución de los conocimientos.



EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO



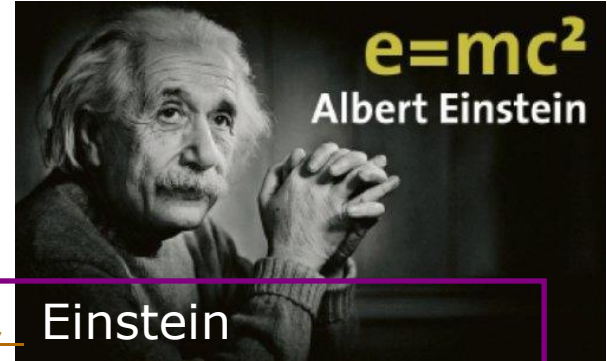
Más información: www.electromagneticos.es

Correo electrónico: informa@electromagneticos.es

Breve reseña histórica

1895, Roentgen,
radiación X,
continua
expansión de los
usos médicos de
la radiación.

1896, Henri
Becquerel,
descubre el
uranio.



1905, Einstein
y la teoría de la relatividad

1890 1900 1910 1920 1930 1940 1950



1900, Thomson,
q/m del *electrón*

1898,
polonio,
radio

1903, Premio
Nobel de Física:
Antoine Henri
Becquerel, Pierre y
Marie Curie por la
radiactividad.

Breve reseña histórica

1928, el Congreso Mundial de Radiología, crea la Comisión Internacional de Protección Radiológica (*ICRP*)

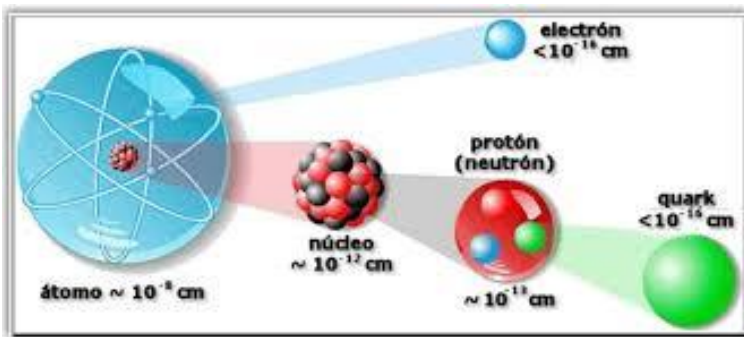
1945, bombas atómicas al final de la II Guerra Mundial, con enormes pérdidas humanas.

1930 Dirac predice la existencia del positrón.

1910 1920 1930 1940 1950 1960 1970 1980 2000

1903-1919, partículas fundamentales

1932 El positrón es descubierto por Anderson en una cámara de niebla.



1956, primera gran central de energía nuclear, Calder Hall, en el Reino Unido.

IDMP2023
7 de Noviembre



Día Internacional de
la Física Médica

60 Aniversario EN LOS HOMBROS DE GIGANTES

John Mallard imagen
RMN de tejidos
internos. Paul Lauterbur
(RMN) y Peter Mansfield
(IRM) PN 2003



1980

John Mallard y su equipo obtuvieron la primera imagen clínicamente útil de los tejidos internos de un paciente utilizando el escáner de resonancia magnética de cuerpo entero que construyeron. Las primeras imágenes por resonancia magnética fueron producidas en 1973 por Paul Lauterbur mientras que las técnicas de IRM fueron perfeccionadas por Peter Mansfield. Lauterbur y Mansfield recibieron el Premio Nobel de Fisiología o Medicina en 2003.

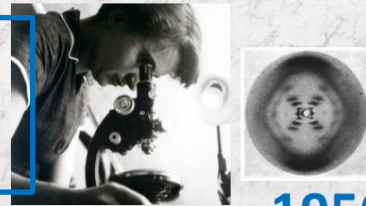


Godfrey Hounsfield y
Allan McLeod Cormack.
PN 1979. TC

1972

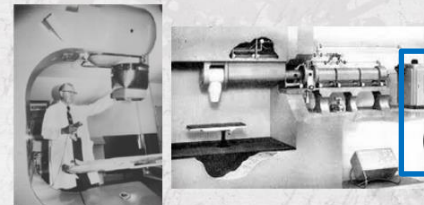
El primer escáner de TC disponible comercialmente es de Godfrey Hounsfield. Inventó esta tecnología junto con Allan McLeod Cormack. Llamada así por Hounsfield, la UH es la medida de radiodensidad utilizada en la TC. Hounsfield y Cormack recibieron el Premio Nobel de Fisiología o Medicina en 1979.

Estructura del ADN
(Franklin). Imágenes
médicas TC y RMN



1952

Los trabajos de Franklin sobre difracción de rayos X ayudaron a desvelar la estructura del ADN, lo que allanó el camino para el desarrollo de tecnologías de imagen médica como la tomografía computarizada y la resonancia magnética.



Unidad de terapia ^{60}Co
(Harold Johns)

1950s

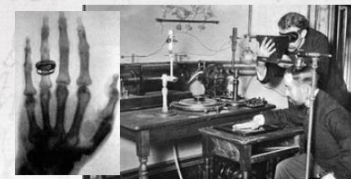
Progreso en radioterapia. Harold Johns inventó la unidad de teleterapia de ^{60}Co en 1951. En 1953 se instaló el primer acelerador lineal clínico para el tratamiento del cáncer. Este trabajo pionero ayudó a establecer la física médica como un campo único en la ciencia sanitaria.



Radiactividad natural

1903

Las investigaciones pioneras de Marie Curie y Henry Becquerel sobre la radiactividad sentaron las bases del campo de la física médica y contribuyeron a establecer la radioterapia como tratamiento contra el cáncer.



Descubrimiento de RX

1895

Röntgen en 1895 descubrió los rayos X que revolucionaron el diagnóstico médico. En reconocimiento a su trabajo, Röntgen recibió el primer Premio Nobel de Física en 1901.

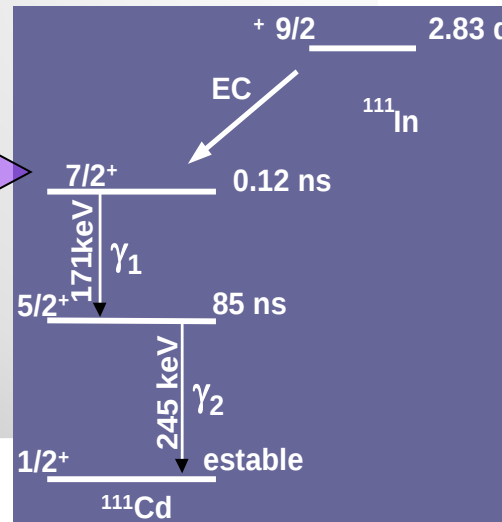
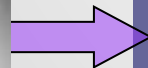
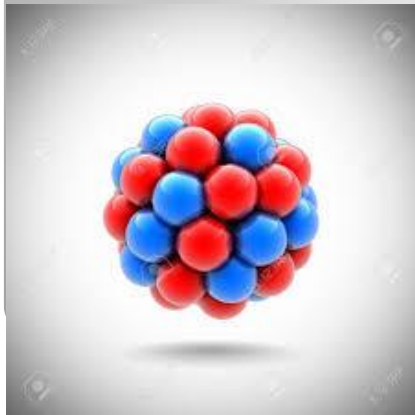
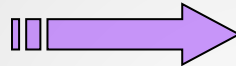
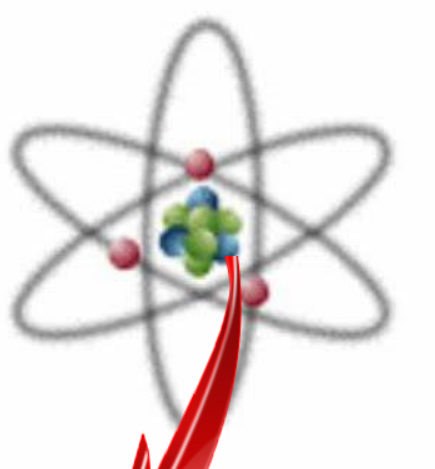


¡Celebremos el Aniversario 60 de la IOMP!

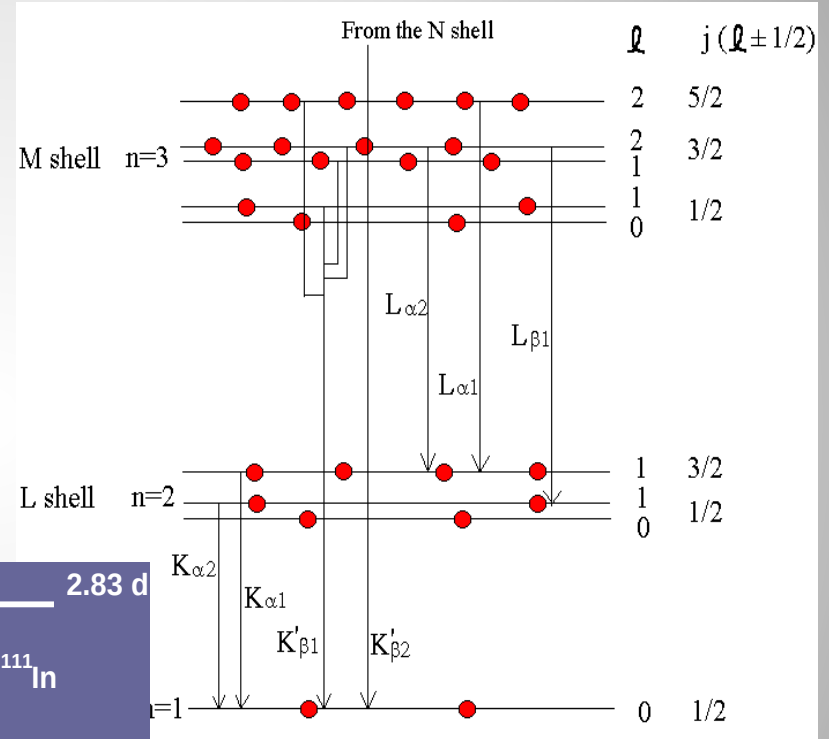
¡Seis décadas promoviendo el avance de la física médica en todo el mundo!

El núcleo radiactivo

Modelo de un átomo



Esquema de niveles de energía atómicos



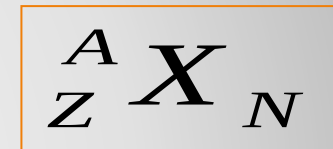
Esquema de niveles de energía nucleares

El núcleo

¿Cómo es que existen los núcleos?

Las fuerzas nucleares $F_{nn} = F_{pp} = F_{np} \approx 10^{38} F_{\text{grav}} \approx 10^2 F_{\text{electrom}}$,

alcance $\approx \text{fm}$ (10^{-15}m)



Energía de ligadura $B = (Zm_p + Nm_n - M_{\text{núcl}}) c^2 > 0$

Fuerza necesaria para separar un protón o un neutrón de la partícula $\alpha \approx 20 \text{ MeV!!}$

Densidad nuclear $\approx \text{constante} \approx 10^{14} \text{ g/cm}^3$

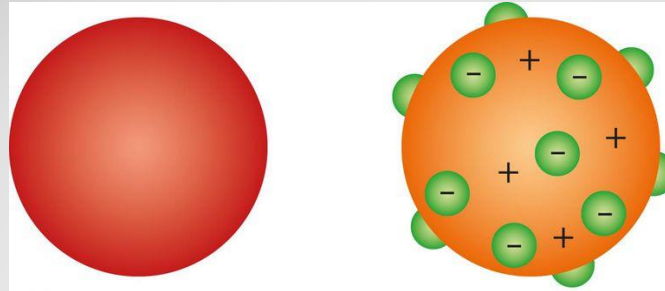
$$1 \text{ uma} = 1.66 \cdot 10^{-24} \text{ g} \rightarrow (E = mc^2) = 1.49 \cdot 10^{-3} \text{ erg} = 931.5 \text{ MeV} \approx m_p c^2$$
$$m_p \approx m_n \qquad m_{e^-} = 0.511 \text{ MeV}$$



Modelos Atómicos

✓ 1910, Thomson

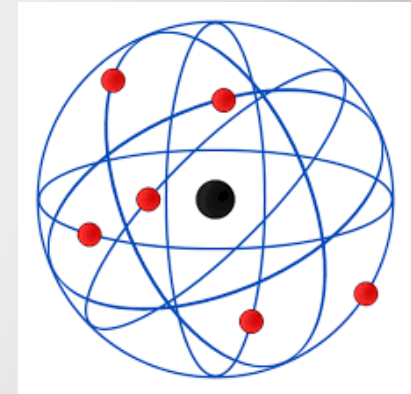
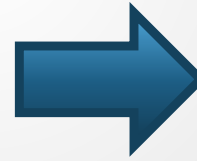
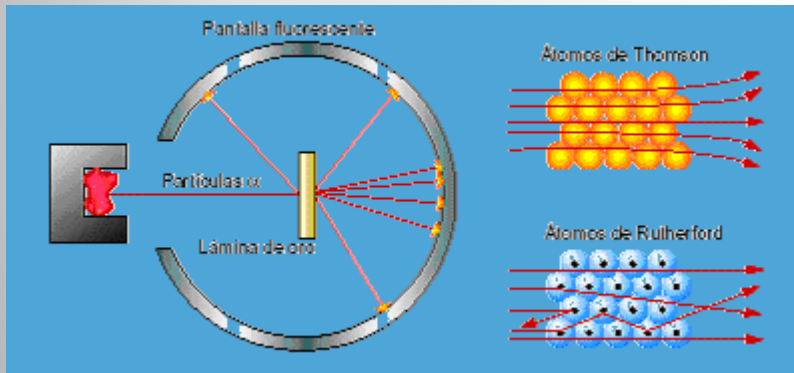
Esfera sólida
indivisible
(Dalton, 1804)



"budín de pasas"

$$r_{\text{át}} \approx 10^{-10} \text{ m} = 1 \text{ \AA}$$

✓ 1911: Rutherford



Modelo planetario

$$r_{\text{núc}} \approx 10^{-15} \text{ m} = 1 \text{ fm} = 10^{-5} r_{\text{át}}$$

el núcleo contiene casi toda la masa atómica y su carga es positiva,
contiene Z *protones* (= número de electrones)



Tabla Periódica de los Elementos

TABLA PERIÓDICA DE LOS ELEMENTOS

1 1.0079 H HIDRÓGENO																	2 4.0026 He HELIO						
3 6.941 Li LITIO	4 9.0122 Be BERILIO																	5 10.811 B BORO	6 12.011 C CARBONO	7 14.007 N NITRÓGENO	8 15.999 O OXÍGENO	9 18.998 F FLUOR	10 20.180 Ne NEÓN
11 22.990 Na SODIO	12 24.305 Mg MAGNESIO																	13 26.982 Al ALUMINIO	14 28.086 Si SILICIO	15 30.974 P FÓSFORO	16 32.065 S AZUFRE	17 35.543 Cl CLORO	18 39.948 Ar ARGÓN
19 39.098 K POTASIO	20 40.078 Ca CALCIO	21 44.956 Sc ESCANDIO	22 47.867 Ti TITANIO	23 50.942 V VANADIO	24 51.996 Cr CROMO	25 54.938 Mn MANGANESO	26 55.845 Fe HIERRO	27 58.933 Co COBALTO	28 58.693 Ni NIQUEL	29 63.546 Cu COBRE	30 65.38 Zn ZINC	31 69.723 Ga GALIO	32 72.64 Ge GERMANIO	33 74.922 As ARSENICO	34 78.96 Se SELENIO	35 79.904 Br BROMO	36 83.798 Kr KRIPTÓN						
37 85.468 Rb RUBIDIO	38 87.62 Sr ESTRONCIO	39 88.906 Y YTIRIO	40 91.224 Zr CIRCONIO	41 92.906 Nb NIOBIO	42 95.96 Mo MOLIBDENO	43 (98) Tc TECNECIO	44 101.07 Ru RUTENIO	45 102.91 Rh RODIO	46 106.42 Pd PALADIO	47 107.87 Ag PLATA	48 112.41 Cd CADMIO	49 114.82 In INDIO	50 118.71 Sn ESTAÑO	51 121.76 Sb ANTIMONIO	52 127.60 Te TELURO	53 126.90 I YODO	54 131.29 Xe XENÓN						
55 132.91 Cs CESIO	56 137.33 Ba BARIO	57 - 71 La-Lu Lantánidos	72 178.49 Hf HAFNIO	73 180.95 Ta TÁNTALO	74 183.84 W WOLFRAMIO	75 186.21 Re RENO	76 190.23 Os OSMIO	77 192.22 Ir IRIDIO	78 195.08 Pt PLATINO	79 196.97 Au ORO	80 200.59 Hg MERCURIO	81 204.38 Tl TALIO	82 207.20 Pb PLOMO	83 208.98 Bi BISMUTO	84 (209) Po POLONIO	85 (210) At ASTATO	86 (222) Rn RADÓN						
87 (223) Fr FRANCIO	88 (226) Ra RADIO	89 - 103 Ac-Lr Actínidos	104 (267) Rf RUTHERFORDIO	105 (268) Db DUBNIO	106 (271) Sg SEABORGIO	107 (272) Bh BOHRIO	108 (277) Hs HASSIO	109 (276) Mt MEITNERIO	110 (281) Ds DARMSTADTIO	111 (280) Rg ROENTGENIO	112 (285) Cn COPERNICIO	113 (284) Nh NIHONIO	114 (289) Fl FLEROVIO	115 (288) Mc MOSCOVIO	116 (292) Lv LIVERMORIO	117 (294) Ts TÉNESO	118 (294) Og OGANESÓN						
57 138.91 La LANTANO	58 140.12 Ce CERIO	59 140.91 Pr PRASEODIMIO	60 144.24 Nd NEODIMIO	61 (145) Pm PROMETIO	62 150.36 Sm SAMARIO	63 151.96 Eu EUROPIO	64 157.25 Gd GADOLINIO	65 158.93 Tb TERBIO	66 162.50 Dy DISPROSIO	67 164.93 Ho HOLMIO	68 167.26 Er ERBIO	69 168.93 Tm TULIO	70 173.05 Yb YTERBIO	71 174.97 Lu LUTECIO									
89 (227) Ac ACTINIO	90 232.04 Th TORIO	91 231.04 Pa PROTACTINIO	92 238.03 U URANIO	93 (237) Np NEPTUNIO	94 (244) Pu PLUTONIO	95 (243) Am AMERICIO	96 (247) Cm CURIO	97 (247) Bk BERKELIO	98 (251) Cf CALIFORNIO	99 (252) Es EINSTEINIO	100 (257) Fm FERMIO	101 (258) Md MENDELEVIO	102 (259) No NOBELIO	103 (262) Lr LAWRENCIO									

Número atómico — 5 10.811 — Masa atómica

B — Símbolo

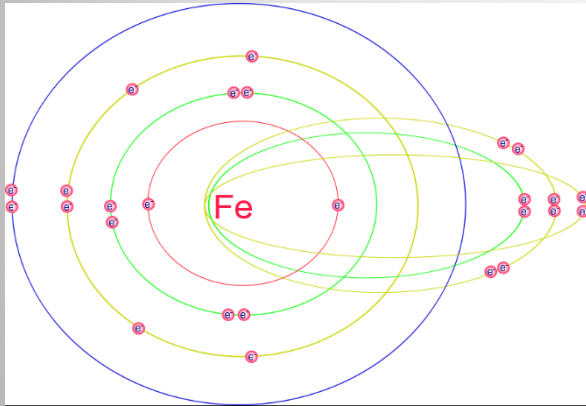
BORO — Nombre del elemento

- Metales alcalinos
- Alcalinotérreos
- Otros metales
- Metales de transición
- Lantánidos
- Metaloides
- No metales
- Halógenos
- Gases nobles
- Actínidos

Modelo Atómico

✓ 1913: *Bohr*

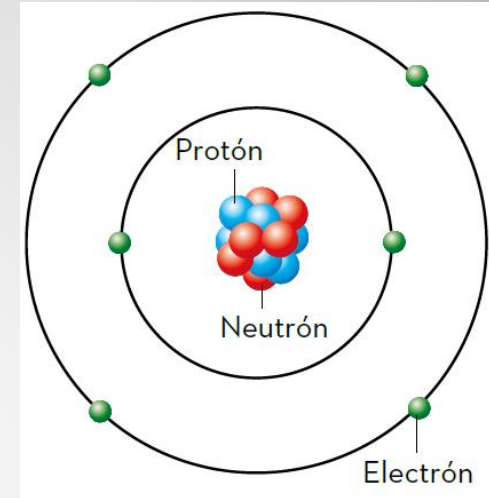
- Niveles de energía definidos, no irradia energía: $mvr=n\hbar$
- Saltos cuánticos: νh



✓ 1925-1927: *Schrödinger-Pauli*

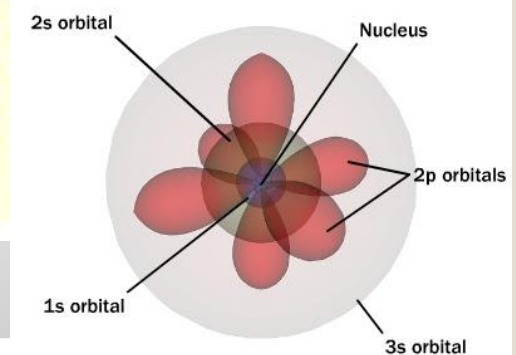
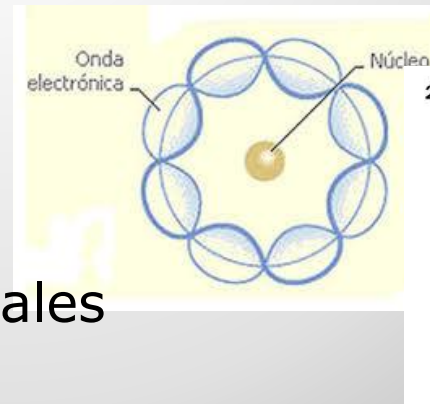
- Dualidad onda-partícula, orbitales
- Principio de exclusión

✓ 1928: *Dirac*, teoría de la relatividad, probabilidad



✓ 1916: *Sommerfeld*

- Número cuántico adicional



©2001 How Stuff Works



Partículas Fundamentales

✓ 1897 descubrimiento del *electrón* → 1903 todas sus propiedades, masa, carga, etc

✓ 1919 definitivamente identificado, *protón*:

Rutherford, reacciones inducidas → $^{14}\text{N} + \alpha \rightarrow \text{p} + ^{17}\text{O}$

✓ 1932: Chadwick, evidencia experimental del *neutrón*



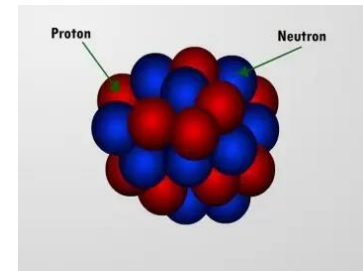
hipótesis de Heisenberg

el núcleo está formado por Z protones y N neutrones, con carga positiva Ze y masa M.

En unidades de masa atómica $M \approx A = Z + N$



nucleídos → ***Tabla de isótopos***



Radiactividad natural



PN 1903

La radiactividad natural fue descubierta por H. Becquerel en Febrero de 1896.

Trataba de determinar si la fluorescencia iba acompañada con rayos X.

" In recognition of the extraordinary services he has rendered by his discovery of spontaneous radioactivity"

Antoine Henri Becquerel
(1852 - 1908)



Radiactividad natural

Pierre Curie
(1859-1906)



PN 1903

Los Curie trabajaron con un mineral (pitchblenda) que contenía Uranio además de Bi, Ba y Pb.

Predicen la existencia del Ra y el Po

Maria Skłodowska-Curie
(1867-1934)



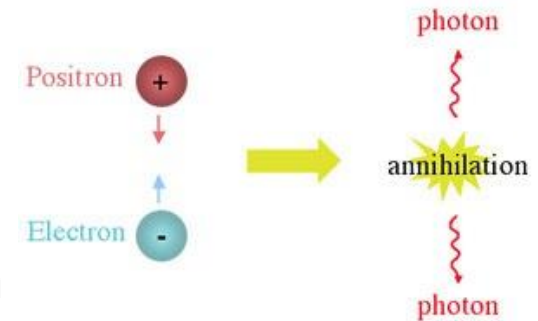
PN 1903

“In recognition of the extraordinary services they have rendered by their joint researches on the radiation phenomena discovered by Professor Henri Becquerel”



Partículas Fundamentales

✓1932: descubrimiento del **positrón** e^+ , antipartícula del e^- ambos se aniquilan liberando energía en forma de radiación gamma



✓1930: Ciclotrón de Lawrence, radionucleidos artificiales:

Núcleos livianos estables se convierten en radioactivos por la irradiación de partículas alpha

✓ 1934: teoría del decaimiento beta, Fermi



✓ 1933: Joliot e Irene Curie, radioactividad artificial

✓ 1942: Fermi et al., reactor de fisión controlada



La Tabla de los nucleídos

X: es el elemento



Z: no. de protones

N: no. de neutrones

} nucleones

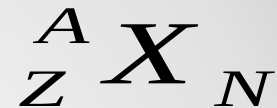
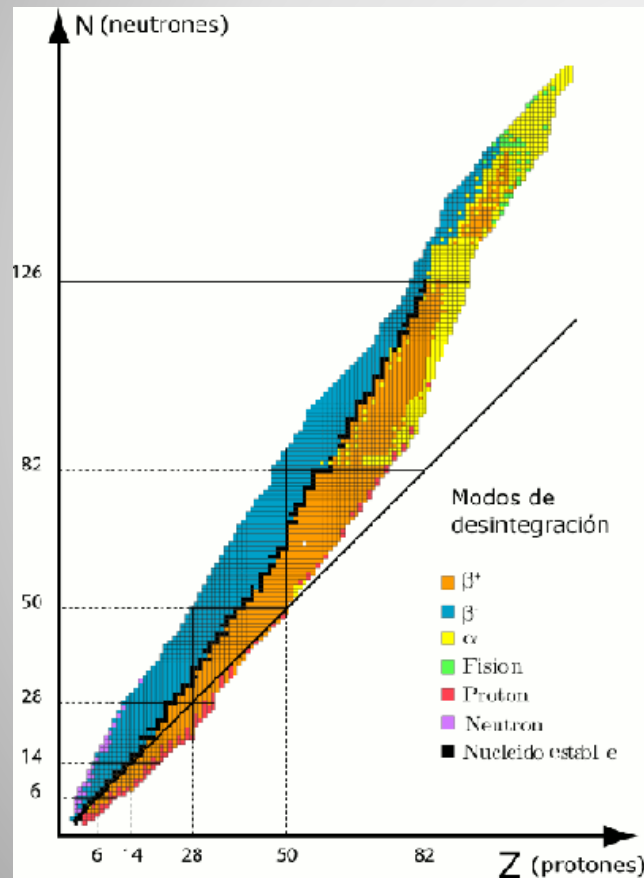
A: no. Másico = Z+N

A es aproximadamente igual al peso atómico, P_A .

Hay que tener en cuenta los isótopos y su abundancia isotópica!

La Tabla de los nucleídos

3000 nucleidos diferentes, 278 son estables el resto son inestables, es decir *radiactivos*



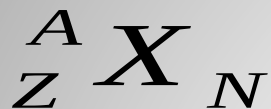
Isótopos: misma carga nuclear, **Z**

Isótonos: mismo número de neutrones, **N**

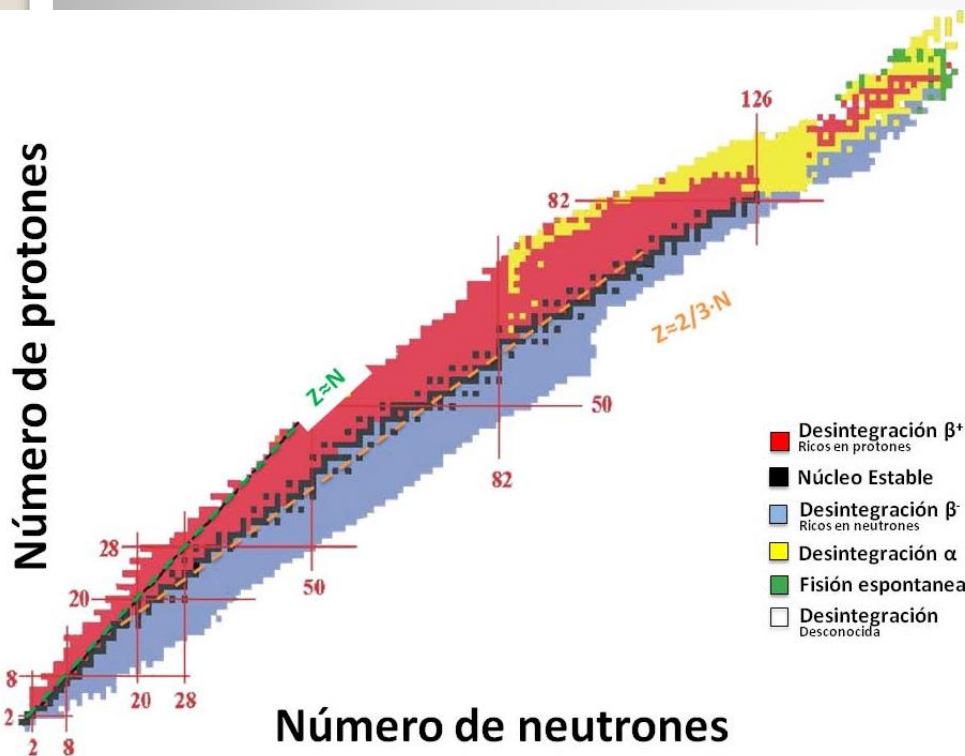
Isóbaros: mismo número de masa, **A**

Isómeros: difieren en su energía: ${}^{99}\text{Tc}$, ${}^{99\text{m}}\text{Tc}$

La Tabla de los nucleídos



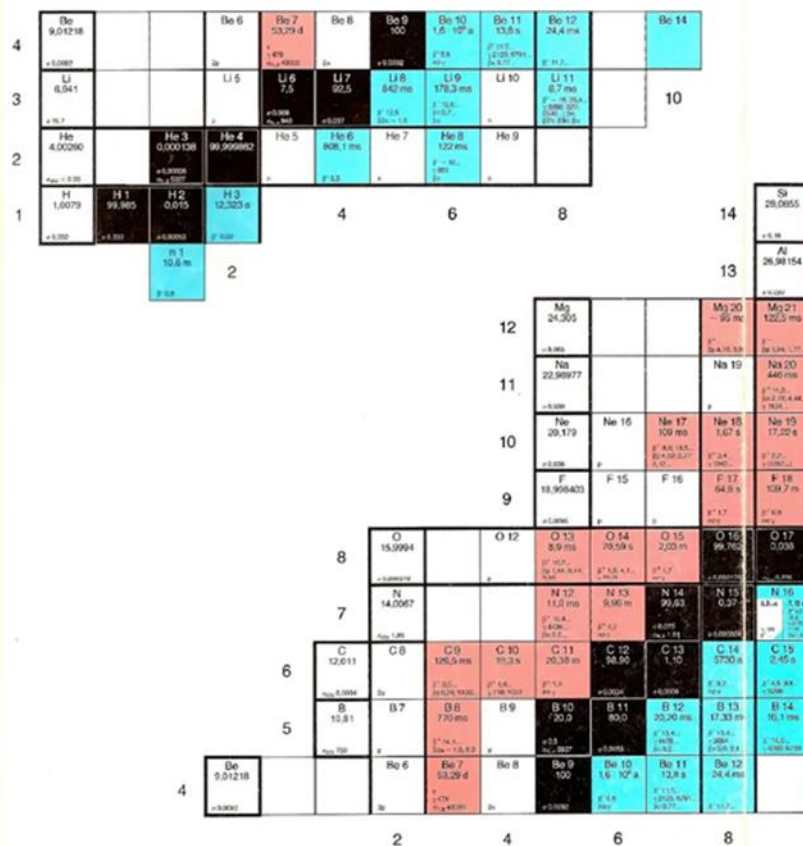
Isótopos, isótonos, isóbaros, isómeros
¿Cómo se usa?



KARLSRUHER NUKLIDKARTE 5. Auflage 1981 CHART OF THE NUCLIDES – TABLEAU DES NUCLIDES – TABLA DE NUCLIDOS

W. Seelmann-Eggebert, G. Pfennig, H. Münzel, H. Klewe-Nebenius
Institut für Radiochemie

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
Alle Rechte vorbehalten – All rights reserved
Tous droits réservés – Todos los derechos están reservados



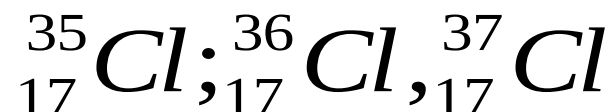
<https://www.nndc.bnl.gov/nudat2/>

<https://www.bipm.org/en/publications/scientific-output/monographies-ri.html>

La Tabla de los nucleídos

Ejemplos:

Isótopos



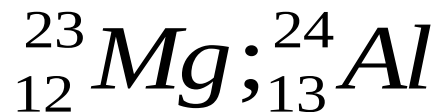
Isóbaros



Isómeros



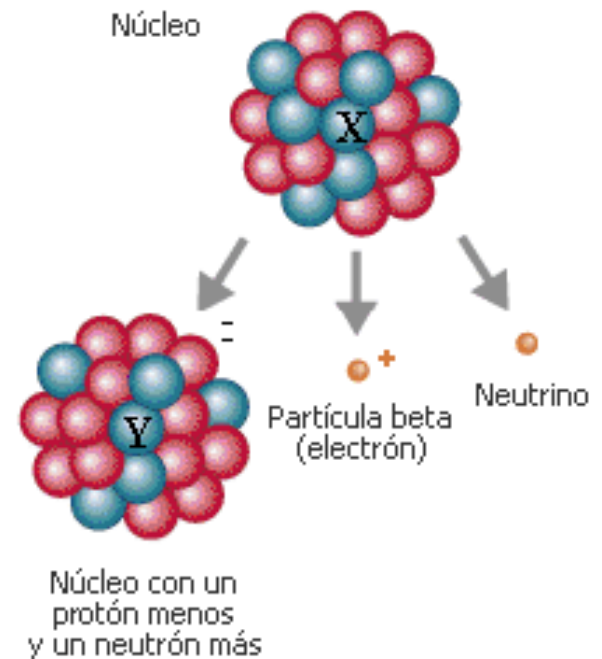
Isótonos



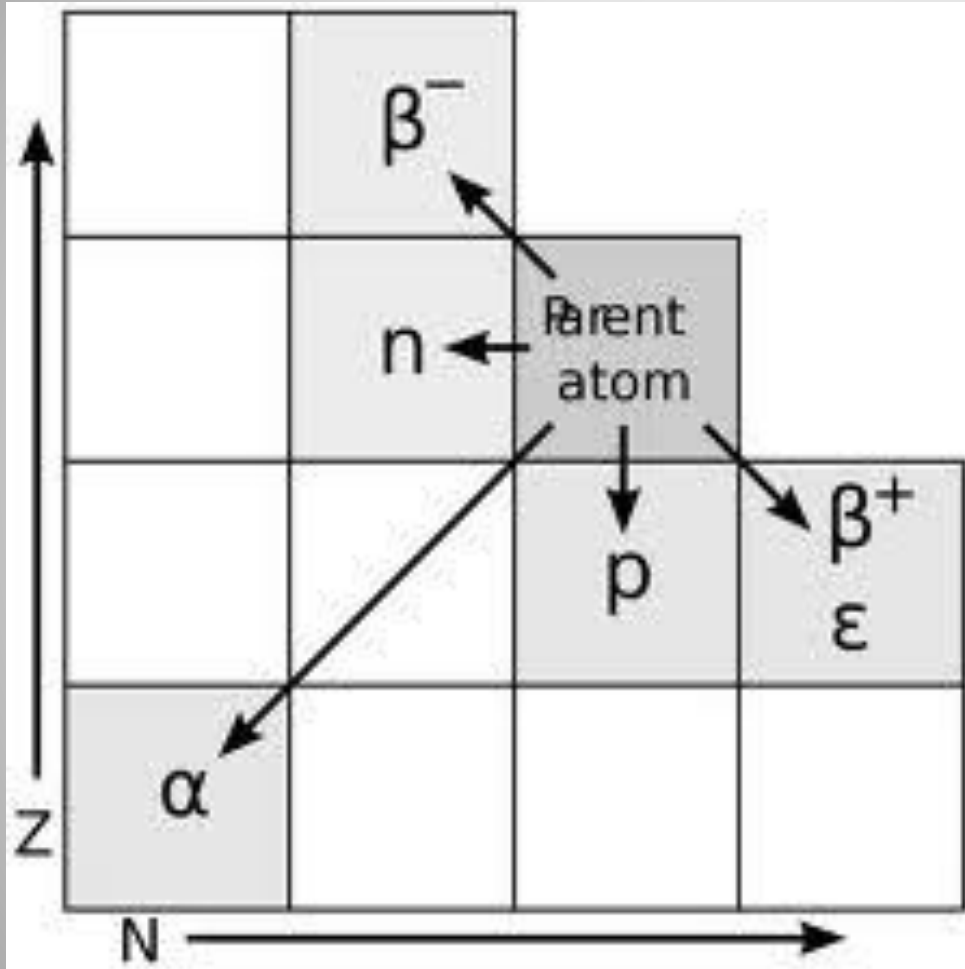
¿Qué es la radiactividad?

Se denomina **radiactividad** al proceso de transformación **espontánea** de núcleos atómicos mediante la emisión de radiaciones.

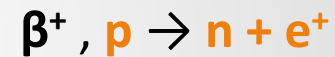
Bajo ciertas circunstancias **los núcleos** pueden ser **inestables** y transformarse en otros mediante la **emisión de partículas y radiaciones**.



Transformaciones o procesos nucleares

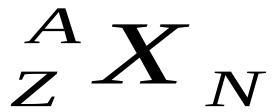


Emisiones beta:



Partícula alfa α , núcleos de helio:

2 protones y 2 neutrones



Po 208 2.896 a α 5.1152... γ (292, 571...) g	Po 209 102 a α 4.881... γ (895, 261 263...)	Po 210 138.38 d α 5.30436... γ (803) α + 0.0008 + + 0.000 α _{0.012} α = 0.1	Po 211 35.2 s α 7.275 5.883 γ (7.4... 1.088 (363) γ (570...)	Po 212 0.14 s α 7.182 5.728 γ (2415, 404 204 α = 10.22 α = 0.775	Po 213 3.708 μs α 5.376 γ (779)
Bi 207 31.55 a α 5.3... γ 570, 1064 1770	Bi 208 3.68·10 ⁵ a α 5.2615	Bi 209 100 1.9·10 ¹⁰ a α 5.677... α = 0.411 + 0.002 α _{0.2} = 37.2	Bi 210 3.6·10 ⁴ a α 5.446 4.908 1.290 504 α = 0.064	Bi 211 2.14 m α 5.6229 6.2862 β ⁻ γ 3.1... 1.2	Bi 212 20 m α 6.14 1.36 γ 3.3 α = 0.000105 α = 0.000105
Pb 206 24.1 α 0.027	Pb 207 22.1 α 0.61	Pb 208 52.4 α 0.00023 α _{0.02} < 8E-6	Pb 209 33.3 m β ⁻ 0.8 797	Pb 210 22.3 a β ⁻ 0.02, 0.06 1.47, 8.7... α 3.72 α < 0.5	Pb 211 36.1 m β ⁻ 1.4... γ 405, 852 437...
Tl 205 70.48 α 0.11	Tl 206 17 m α 5.895, 403 215, 296 1021... α = 0.001... α = 0.001...	Tl 207 133 s α 4.77 m α = 0.0001... α = 0.0001...	Tl 208 3.063 m β ⁻ 1.8, 2.4 γ 2615, 563 511, 860, 277...	Tl 209 2.16 m β ⁻ 1.8 γ 1567, 465 117...	Tl 210 1.30 m β ⁻ 1.8, 2.3 γ 830, 298... (g)

Z ↑

→ N



Partícula alfa α , núcleos de helio:

2 protones y 2 neutrones

TABLE 1.2. Characteristics of electrons and nucleons.

Particle	Charge	Mass (amu) ^a	Mass (kg)	Mass (MeV) ^b
Electron	−1	0.000549	0.9108×10^{-30}	0.511
Proton	+1	1.00728	1.6721×10^{-27}	938.78
Neutron	0	1.00867	1.6744×10^{-27}	939.07

^a amu = 1 atomic mass unit = 1.66×10^{-27} kg = one twelfth of the mass of ¹²C.

^b 1 atomic mass unit = 931 MeV.

Teniendo en cuenta la equivalencia masa-energía (Einstein):

$$E = mc^2$$

La unidad de energía utilizada en física nuclear es el eV (electrón –volt)

$$1eV = 10^{-3} keV = 10^{-6} MeV$$

$$e = 1.6021 \times 10^{-19} coul$$

$$1eV = 1.6021 \times 10^{-19} Joule$$

Interacción de la radiación con la materia.

- Involucra el estudio de la penetración de la *partícula* en la *materia* (400 años atrás)
- Problema de describir la partícula (*radiación*) y el blanco (*sólido*).

Desarrollo de diferentes espectroscopias nucleares.

Falta de acuerdo entre la teoría y el experimento.

- Transcurre casi un siglo desde el descubrimiento de las partículas radiactivas (1895) al desarrollo de la *física computacional* (1970) y posteriores avances en descripciones basadas en la *mecánica cuántica y estadística*.

Bibliografía

Elements of Nuclear Physics, Meyerhof, 1967

Technics for Nuclear and Particle Physics Experiments, W.R.Leo

The Atomic Nucleus, R.Evans, 1955

*Introduction to Nuclear Physics, W.N.Cottingham and
D.A.Greenwood, 1985.*

Fundamental of Nuclear Pharmacy, Gopal B.Saha, 2004.

Physics in Nuclear Medicine, S.R.Cherry, J.A. Sorenson, M.E.Phelps.

Rayos X



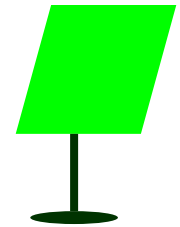
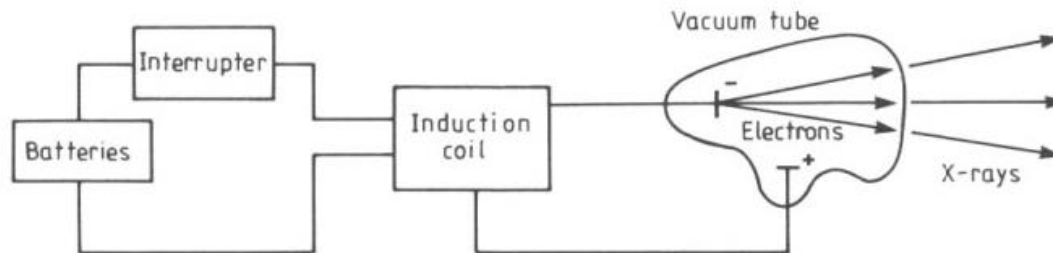
Wilhem Röntgen (1845-1923) descubrió los Rayos X en Würzburg el 8 de noviembre de 1895.

P. N. 1901

"On a new kind of rays" Nature 53, 274 (1896).

En esos años se estudiaban las descargas eléctricas en gases. Se encerraban gases a distinta presión en tubos de vidrio y mediante electrodos se excitaban descargas eléctricas.

Röntgen comenzó a estudiar los rayos catódicos en 1894.

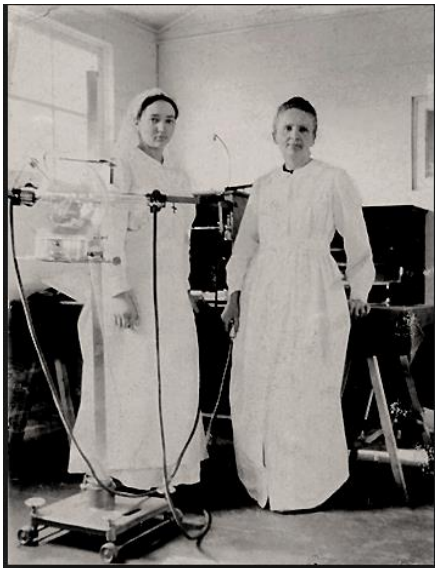


Platinocianu
ro de Bario

Rayos X



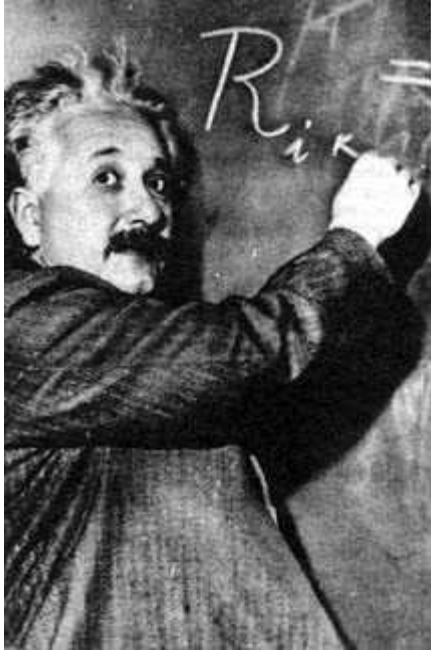
Los rayos X encontraron rápidamente aplicaciones en medicina



Una de ellas se la debemos a Marie Sklodowska-Curie quien, al estallar la Primera Guerra Mundial en 1914, propuso y diseñó unidades móviles similares a ambulancias, conocidas popularmente como *petit curie* (“pequeñas Curie”) con las cuales asistió a los médicos de la Cruz Roja francesa.



Teoría de la relatividad



Albert Einstein (1879-1955).

Relatividad especial: discrepancia entre las transformaciones galileanas y las ecuaciones de Maxwell. (*Annalen der Physik*, 1906).

Dos Postulados:

- ✓ constancia de la velocidad de la luz, $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$.
- ✓ equivalencia entre marcos de referencia inerciales para los fenómenos electromagnéticos.
- ✓ equivalencia masa-energía  $E = mc^2$

Relatividad general: teoría de la gravedad que reemplaza a la newtoniana. "Die Feldgleichungen der Gravitation", Sitzung der physikalisch-mathematischen, 1915

P. N. 1921

"for his services to Theoretical Physics, and especially for his discovery of the law of the photoelectric effect".



$$E = h\nu$$

"Un punto de vista heurístico sobre la producción y transformación de la luz", 1905, mostró como la idea de partículas discretas de luz podía explicar el efecto fotoeléctrico y la presencia de una frecuencia característica para cada material por debajo de la cual no se producía ningún efecto

TABLA DE ISOTOPOS

