



II CURSO TALLER DE CAPACITACIÓN PARA
OFICIALES DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA

MÓDULO I:
INTRODUCCIÓN A LAS RADIACIONES

TABLA DE CONTENIDOS

- 1. INTRODUCCIÓN**
2. ESTRUCTURA ATÓMICA Y NUCLEAR
3. INTERACCIONES DE FOTONES
4. INTERACCIONES DE ELECTRONES

INTRODUCCIÓN

1.1. Constantes físicas Fundamentales:

- Avogadro's number : $N_A = 6.022 \times 10^{23}$ atoms/g-atom
- Avogadro's number : $N_A = 6.022 \times 10^{23}$ molecules/g-mole
- speed of light in vacuum : $c = 299\,792\,458$ m/s ($\approx 3 \times 10^8$ m/s)
- electron charge : $e = 1.602 \times 10^{-19}$ C
- electron rest mass : $m_{e^-} = 0.511$ MeV/ c^2
- positron rest mass : $m_{e^+} = 0.511$ MeV/ c^2
- proton rest mass : $m_p = 938.3$ MeV/ c^2
- neutron rest mass : $m_n = 939.6$ MeV/ c^2
- atomic mass unit : $u = 931.5$ MeV/ c^2

INTRODUCCIÓN

1.1. Constantes físicas Fundamentales: (cont.)

- Planck's constant : $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
- permittivity of vacuum : $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ C} / (\text{V} \cdot \text{m})$
- permeability of vacuum : $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} (\text{V} \cdot \text{s}) / (\text{A} \cdot \text{m})$
- Newtonian gravitation constant : $G = 6.672 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
- proton mass / electron mass : $m_p / m_e = 1837$
- specific charge of electron : $e / m_e = 1.758 \times 10^{11} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1}$

INTRODUCCIÓN

1.2. Relaciones Físicas:

- Speed of light in vacuum:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s} \quad (1.1)$$

- Planck's constant \times speed of light in vacuum:

$$\hbar c = \frac{h}{2\pi} c = 197 \text{ MeV} \cdot \text{fm} \approx 200 \text{ MeV} \cdot \text{fm} \quad (1.2)$$

- Fine structure constant:

$$\alpha = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{\hbar c} = \frac{1}{137} \quad (1.3)$$

INTRODUCCIÓN

1.2. Relaciones Físicas: (cont.)

- Bohr radius:

$$r_{\text{H}} = \frac{\hbar c}{\alpha m_e c^2} = \frac{4\pi\epsilon_0 (\hbar c)^2}{e^2 m_e c^2} = 0.529 \text{ \AA} \quad (1.4)$$

- Bohr energy:

$$E_{\text{H}} = \frac{1}{2} m_e c^2 \alpha^2 = \frac{1}{2} \left[\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \right]^2 \frac{m_e c^2}{(\hbar c)^2} = 13.61 \text{ eV} \quad (1.5)$$

- Rydberg constant:

$$R_{\infty} = \frac{E_{\text{H}}}{2\pi\hbar c} \frac{m_e c^2}{4\pi\hbar c} \alpha^2 = \frac{1}{4\pi} \left[\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \right]^2 \frac{m_e c^2}{(\hbar c)^3} = 109\,737 \text{ cm}^{-1} \quad (1.6)$$

INTRODUCCIÓN

1.2. Relaciones Físicas: (cont.)

- Classical electron radius:

$$r_e = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 m_e c^2} = 2.818 \text{ fm} \quad (1.7)$$

- Compton wavelength of the electron:

$$\lambda_c = \frac{h}{m_e c} = 0.0243 \text{ \AA} \quad (1.8)$$

fm es el fermi, $1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$

INTRODUCCIÓN

1.3. Cantidades físicas y unidades

- Las *cantidades físicas* se caracterizan por su valor numérico (magnitud) y su unidad asociada.
- Los *símbolos* van en cursiva, las unidades en tipo romano (*por ejemplo*: $m = 21 \text{ kg}$; $E = 15 \text{ MeV}$).
- El valor numérico y unidad se separan por un espacio (*por ejemplo*: 21 kg y no 21kg; 15 MeV y no 15MeV).
- El Sistema Internacional de Unidades (SI) se basa en unidades para siete cantidades físicas básicas:

Length ℓ	:	meter (m)
Mass m	:	kilogram (kg)
Time t	:	second (s)
Electric current I	:	ampere (A)
Temperature T	:	kelvin (K)
Amount of substance	:	mole (mol)
Luminous intensity	:	candela (cd)

INTRODUCCIÓN

1.3. Cantidades físicas y unidades (cont.)

TABLE 1.1. BASIC AND DERIVED PHYSICAL QUANTITIES AND THEIR UNITS IN *SYSTÈME INTERNATIONAL (SI)* AND IN RADIATION PHYSICS.

<i>Physical quantity</i>	<i>Symbol</i>	<i>Units in SI</i>	<i>Units used in radiation physics</i>	<i>Conversion</i>
Length	ℓ	m	nm, Å, fm	$1 \text{ m} = 10^9 \text{ nm} = 10^{10} \text{ Å} = 10^{15} \text{ fm}$
Mass	m	kg	MeV/c ²	$1 \text{ MeV}/c^2 = 1.78 \times 10^{-30} \text{ kg}$
Time	t	s	ms, μs , ns, ps	$1 \text{ s} = 10^3 \text{ ms} = 10^6 \mu\text{s} = 10^9 \text{ ns} = 10^{12} \text{ ps}$
Current	I	A	mA, μA , nA, pA	$1 \text{ A} = 10^3 \text{ mA} = 10^6 \mu\text{A} = 10^9 \text{ nA}$
Charge	Q	C	e	$1 \text{ e} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$
Force	F	N		$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
Momentum	p	N · s		$1 \text{ N} \cdot \text{s} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
Energy	E	J	eV, keV, MeV	$1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J} = 10^{-3} \text{ keV}$

INTRODUCCIÓN

1.4. Clasificación de las Fuerzas en la Naturaleza

TABLE 1.II. THE FOUR FUNDAMENTAL FORCES IN NATURE

<i>Force</i>	<i>Source</i>	<i>Transmitted particle</i>	<i>Relative strength</i>
Strong	Strong charge	Gluon	1
EM	Electric charge	Photon	1/137
Weak	Weak charge	W and Z ⁰	10 ⁻⁶
Gravitational	Energy	Graviton	10 ⁻³⁹

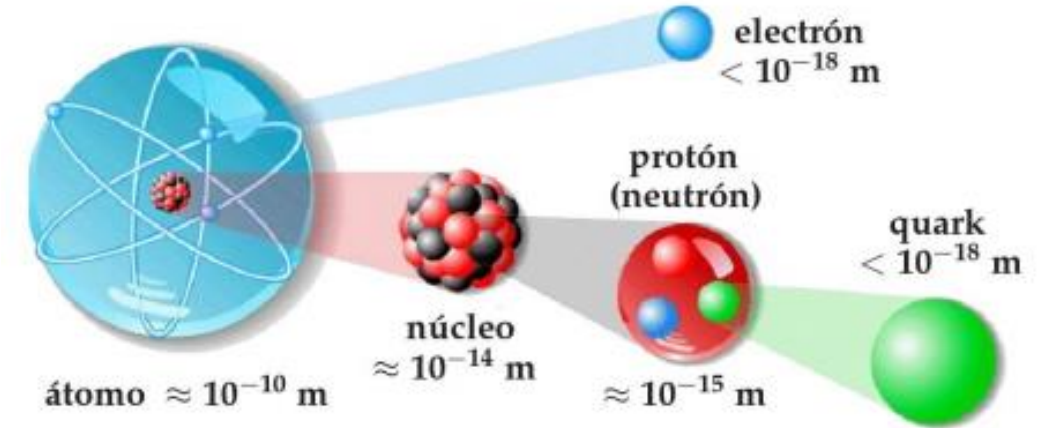
- carga fuerte para la fuerza fuerte transmitida por partículas sin masa llamadas gluones;
- carga eléctrica para la fuerza EM transmitida por fotones;
- carga débil por la fuerza débil transmitida por partículas llamadas W y Z⁰;
- Energía para la fuerza gravitacional transmitida por partículas hipotéticas llamadas gravitones

INTRODUCCIÓN

1.5. Clasificación de las partículas fundamentales

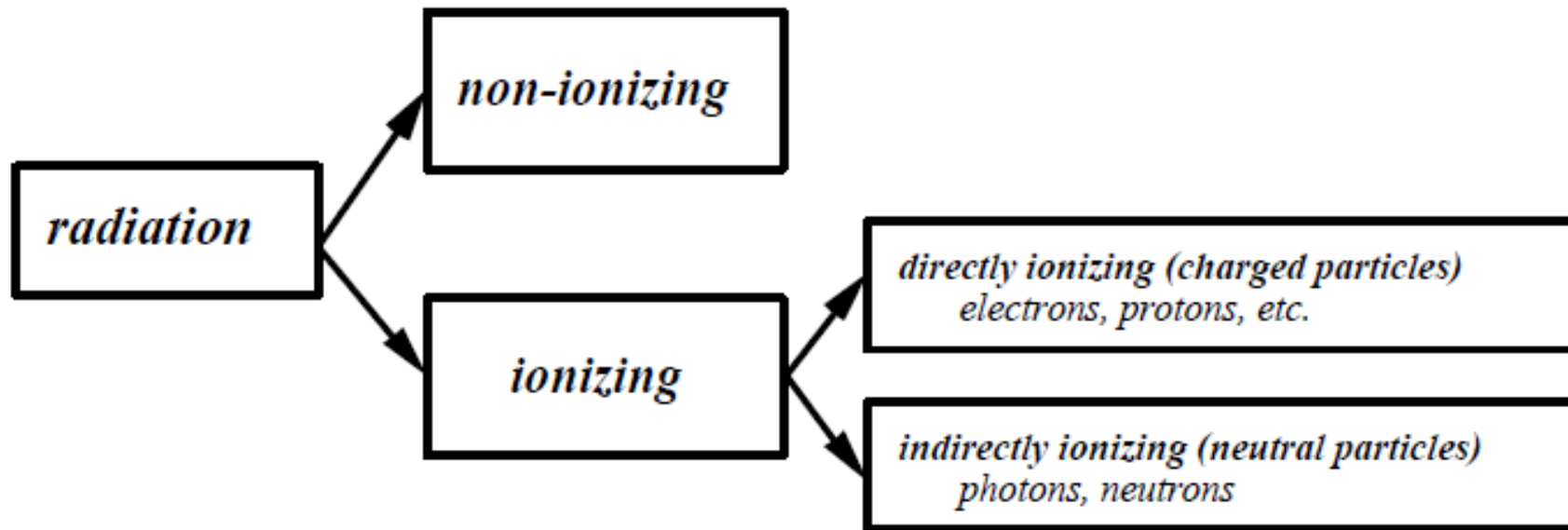
Dos clases de partículas fundamentales: quarks y leptones.

- Los quarks son partículas que exhiben fuertes interacciones. Son constituyentes de los hadrones (protones y neutrones) con una carga eléctrica fraccional ($2/3$ o $-1/3$) y se caracterizan por uno de los tres tipos de carga fuerte llamada color (rojo, azul, verde). Actualmente hay cinco quarks conocidos: arriba, abajo, extraño, encanto, fondo.
- Los leptones son partículas que no interactúan fuertemente. Electrón, muón, tau y sus correspondientes neutrinos se encuentran en esta categoría.



INTRODUCCIÓN

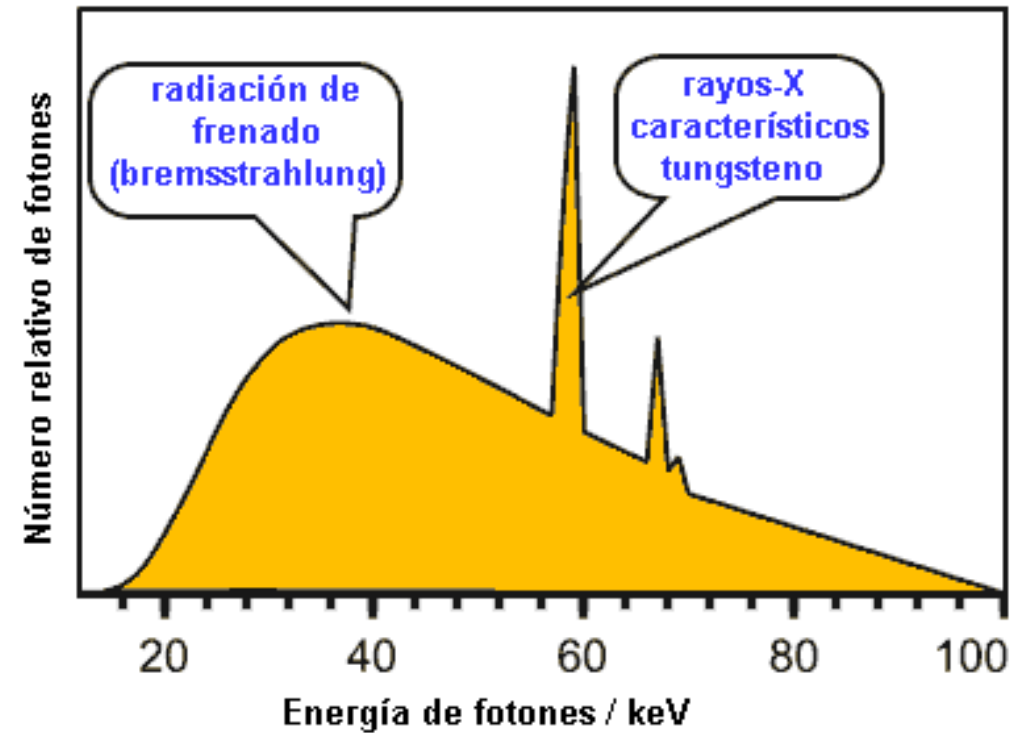
1.6. Clasificación de la radiación



INTRODUCCIÓN

1.7. Clasificación de la radiación ionizante de fotones

- Rayos x característicos:
Resultado de las transiciones de electrones entre las capas atómicas
- Bremsstrahlung:
Resultados de las interacciones electrón-núcleo de Coulomb.
- Rayos gamma:
Resultado de las transiciones nucleares
- Cuantos de aniquilación:
Resultado de la aniquilación positrón-electrón



INTRODUCCIÓN

1.8. Las relaciones de masa, energía e impulso relativistas de Einstein

- $$m(v) = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \gamma m_0 \quad , \quad (1.9)$$

- $$E = m(v)c^2 \quad , \quad (1.10)$$

- $$E_0 = m_0 c^2 \quad , \quad (1.11)$$

- $$KE = E - E_0 = (\gamma - 1) E_0 \quad , \quad (1.12)$$

- $$E^2 = E_0^2 + p^2 c^2 \quad , \quad (1.13)$$

- For photons $E = h\nu$ and $E_0 = 0$, thus using E. (1.13) we get $p = h\nu / c = h / \lambda$, with ν and λ the photon frequency and wavelength, respectively.

where

v is the particle velocity,

c is the speed of light in vacuum,

$m(v)$ is the particle mass at velocity v ,

m_0 is the particle rest mass (at velocity $v = 0$),

E is the total energy of the particle,

E_0 is the rest energy of the particle,

KE is the kinetic energy of the particle,

p is the momentum of the particle.

INTRODUCCIÓN

1.9. Cantidades y unidades de radiación.

TABLE 1.III. RADIATION QUANTITIES, UNITS, AND CONVERSION BETWEEN OLD AND SI UNITS.

Quantity	Definition	SI unit	Old unit	Conversion
Exposure X	$X = \frac{\Delta Q}{\Delta m_{\text{air}}}$	$2.58 \times \frac{10^{-4} \text{C}}{\text{kg air}}$	$1 \text{ R} = \frac{1 \text{ esu}}{\text{cm}^3 \text{ air}_{\text{STP}}}$	$1 \text{ R} = 2.58 \times \frac{10^{-4} \text{C}}{\text{kg air}}$
Dose D	$D = \frac{\Delta E_{\text{ab}}}{\Delta m}$	$1 \text{ Gy} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$	$1 \text{ rad} = 100 \frac{\text{erg}}{\text{g}}$	$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$
Equivalent dose H	$H = D w_{\text{R}}$	1 Sv	1 rem	$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$
Activity \mathcal{A}	$\mathcal{A} = \lambda N$	$1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$	$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$	$1 \text{ Bq} = \frac{1 \text{ Ci}}{3.7 \times 10^{10}}$

where

ΔQ	is the charge of either sign collected,
Δm_{air}	is the mass of air,
ΔE_{ab}	is the absorbed energy,
Δm	is the mass of medium,
w_{R}	is the radiation weighing factor,
λ	is the the decay constant,
N	is the number of radioactive atoms,
R	stands for roentgen,
Gy	stands for for gray,
Sv	stands for for sievert,
Bq	stands for for becquerel,
Ci	stands for curie,
STP	stands for standard temperature (273.2 K) and standard pressure (101.3 kPa).

INTRODUCCIÓN

1.10. Referencias Bibliográficas.

- Podgorsak, E. B. (2003). Review of radiation oncology physics: a handbook for teachers and students. Vienna, Austria: IAE Agency.
- KHAN, F., “The physics of radiation therapy”, Williams and Wilkins, Baltimore, Maryland, U.S.A. (1994).
- ATTIX, F.H., “Introduction to radiological physics and radiation dosimetry”, Wiley, New York, New York, U.S.A. (1986).
- Podgoršak, E. B. (2006). Radiation physics for medical physicists (p. 437). Berlin: Springer.