



II CURSO TALLER PARA CAPACITACIÓN DE
OFICIALES DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA

MÓDULO I:
INTRODUCCIÓN A LAS RADIACIONES

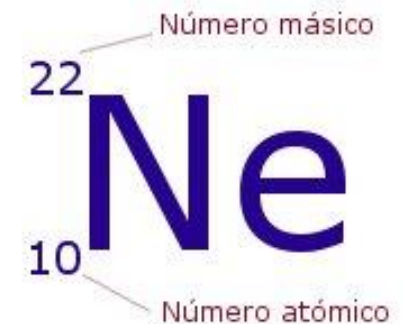
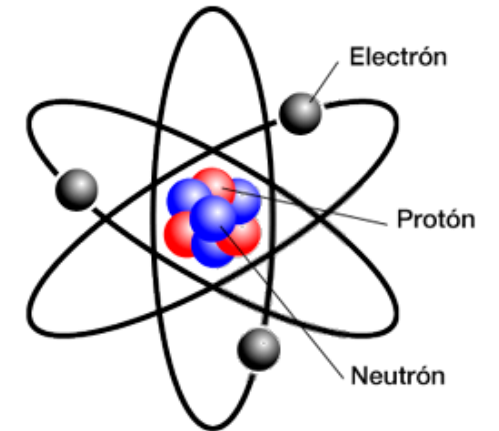
TABLA DE CONTENIDOS

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

ESTRUCTURA ATÓMICA Y NUCLEAR

2.1. Definiciones básicas para la estructura atómica

- **El átomo** es la unidad más pequeña de la materia que mantiene sus propiedades (identidad) y no se divide mediante procesos químicos.
- **Número atómico Z** : número de protones (electrones) en un átomo.
- **Número másico A** : número de nucleones en un átomo, es decir, número de protones Z más número de neutrones N en un átomo; esto es: $A = Z + N$



ESTRUCTURA ATÓMICA Y NUCLEAR

2.1. Definiciones básicas para la estructura atómica. (cont.)

- **Masa atómica M** : expresada en una (**u**), donde 1 u es igual a 1/12 parte de la masa del átomo de carbono 12 o $931,5 \text{ MeV}/c^2$. La masa atómica M es más pequeña que la suma de las masas individuales de partículas constituyentes debido a la energía intrínseca asociada con la unión de las partículas (nucleones) dentro del núcleo.

Partículas subatómicas fundamentales

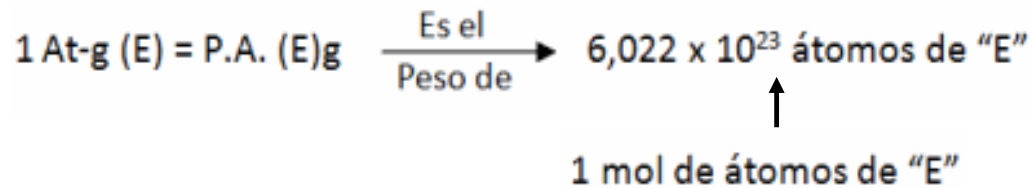
	partículas	Carga		Masa	
		Sistema Internacional (Culombios/C)	Unidades arbitrarias	Sistema Internacional (Kg)	Unidad de Masa Atómica (u.m.a.)
Núcleo	Protón	$+1.602 \cdot 10^{-19}$	+1	$1.673 \cdot 10^{-27}$	1.0073
	Neutrón	0	0	$1.675 \cdot 10^{-27}$	1.0087
Envolvente electrónica	Electrón	$-1.602 \cdot 10^{-19}$	-1	$9.109 \cdot 10^{-31}$	0.0005486

$$1 \text{ uma} = 1.6605 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$$

ESTRUCTURA ATÓMICA Y NUCLEAR

2.1. Definiciones básicas para la estructura atómica. (cont.)

- ***g-atom*** (átomo-gramo): El átomo gramo, es el peso en átomos de un mol de átomos ($6,022 \times 10^{23}$ átomos = N_A) de un elemento. Este peso es exactamente igual al peso atómico expresado en gramos.



- Cuál es el peso de un átomo de carbono en gramos. P.A. (C)=12 u

R.: 2×10^{-23} g

Solución:

Según la relación:

$$1 \text{ At-g (C) = 12 g (C)} \rightarrow 6,022 \times 10^{23} \text{ átomos de (C)}$$

Vemos que: $6,022 \times 10^{23}$ átomos de (C) **pesa** 12 gramos.

Tenemos que calcular cuanto pesa 1 átomo de (C).

Aplicando una regla de tres simple:

$$6,022 \times 10^{23} \text{ átomos (C)} \xrightarrow{\text{Pesa}} 12 \text{ gramos}$$

$$1 \text{ átomo (C)} \xrightarrow{\text{Pesa}} X \text{ gramos}$$

$$X = 12 / 6,022 \times 10^{23} = 2 \times 10^{-23} \text{ gramos}$$

ESTRUCTURA ATÓMICA Y NUCLEAR

2.1. Definiciones básicas para la estructura atómica. (cont.)

- Se tiene una muestra de 200 gramos de Calcio (Ca). ¿cuántos átomos gramos contiene?
Dato P.A. (Ca) = 40 uma

R.: 5 at-g

Solución:

$$1 \text{ At-g (Ca)} = 40 \text{ g (Ca)} \rightarrow 6,022 \times 10^{23} \text{ átomos de (Ca)}$$

Vemos que: 1 At-g (Ca) contiene 40 gramos de átomos de (Ca)

Tenemos que calcular cuantos At-g hay en 200 gramos de calcio (Ca)

Aplicando una regla de tres simple:

$$\begin{array}{l} 1 \text{ At-g (Ca)} \xrightarrow{\text{Pesa}} 40 \text{ gramos} \\ X \text{ At-g (Ca)} \xrightarrow{\text{Pesa}} 200 \text{ gramos} \end{array}$$

$$X = 200 / 40 = \mathbf{5 \text{ at-g}}$$

ESTRUCTURA ATÓMICA Y NUCLEAR

2.1. Definiciones básicas para la estructura atómica. (cont.)

- En física nuclear la convención es designar un núcleo X como ${}^A_Z\text{X}$, donde A es el número de masa atómica y Z el número atómico.

Por ejemplo el núcleo de cobalto 60 se escribe: ${}^{60}_{27}\text{Co}$, donde: Z = 27 protones y A = 33 neutrones

Mientras que el núcleo de radio 226 tiene Z = 88 protones y A = 138 neutrones, esto es: ${}^{226}_{88}\text{Ra}$

ESTRUCTURA ATÓMICA Y NUCLEAR

2.1. Definiciones básicas para la estructura atómica. (cont.)

- Número de átomos (N_a) por masa de un elemento:

$$\frac{N_a}{m} = \frac{N_A}{A}$$

- Número de electrones por volumen de un elemento:

$$Z \frac{N_a}{V} = \rho Z \frac{N_a}{m} = \rho Z \frac{N_A}{A}$$

- Número de electrones por masa de un elemento:

$$Z \frac{N_a}{m} = \frac{Z}{A} N_A$$

ESTRUCTURA ATÓMICA Y NUCLEAR

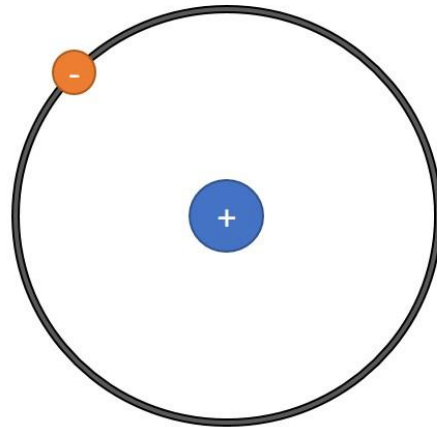
2.2. Estructura Nuclear

- La mayor parte de la masa atómica se concentra en el núcleo atómico que consta de protones Z y neutrones $(A - Z)$, donde Z es el número atómico y A el número de masa atómica de un núcleo dado.
- El radio r del núcleo se estima a partir de: $r = r_0 \sqrt[3]{A}$,
con r_0 igual a una constante (~ 1.2 fm)
- Los protones y neutrones se conocen comúnmente como nucleones y se unen al núcleo con la fuerza fuerte. En contraste con las fuerzas electrostáticas y gravitacionales que son inversamente proporcionales al cuadrado de la distancia entre dos partículas, la fuerza fuerte entre dos nucleones es una fuerza de muy corto alcance, se activa solo a distancias del orden de unas pocas fm. En estas distancias cortas, la fuerza fuerte es la fuerza predominante que excede otras fuerzas en varios órdenes de magnitud.

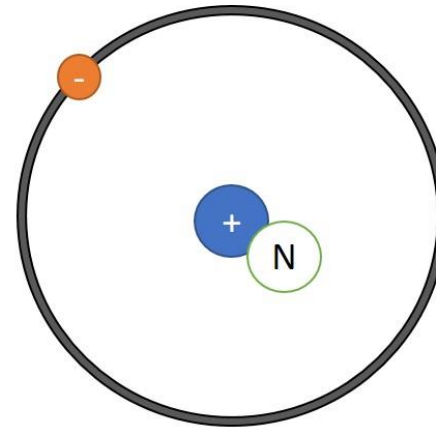
ESTRUCTURA ATÓMICA Y NUCLEAR

2.2. Estructura Nuclear

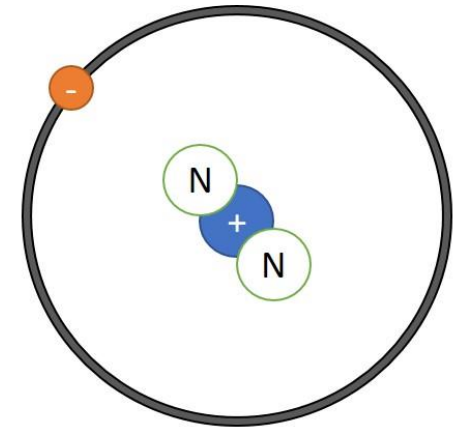
- Los **isótopos** son átomos cuyos núcleos atómicos tienen el mismo número de protones pero diferente número de neutrones.
- Cada isótopo de un mismo elemento tiene el mismo número atómico (Z) pero cada uno tiene un número másico diferente (A)



PROTIO
0 neutrones
1 masa atómica
Estable
99.99 % del H terrestre



DEUTERIO
1 neutrón
2 masa atómica
Estable
0.01 % del H terrestre

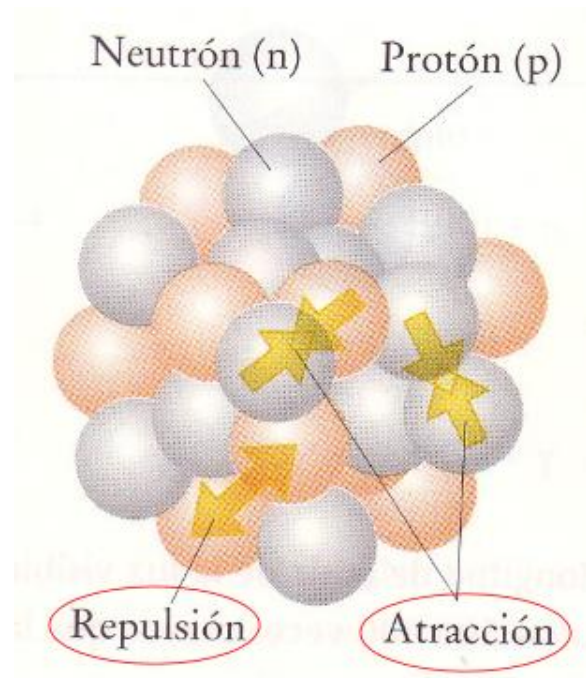


TRITIO
2 neutrones
3 masa atómica
Radioactivo
0.000001 % del H terrestre

ESTRUCTURA ATÓMICA Y NUCLEAR

2.2. Estructura Nuclear

- Las interacciones entre las partículas de un núcleo son de repulsión y atracción:



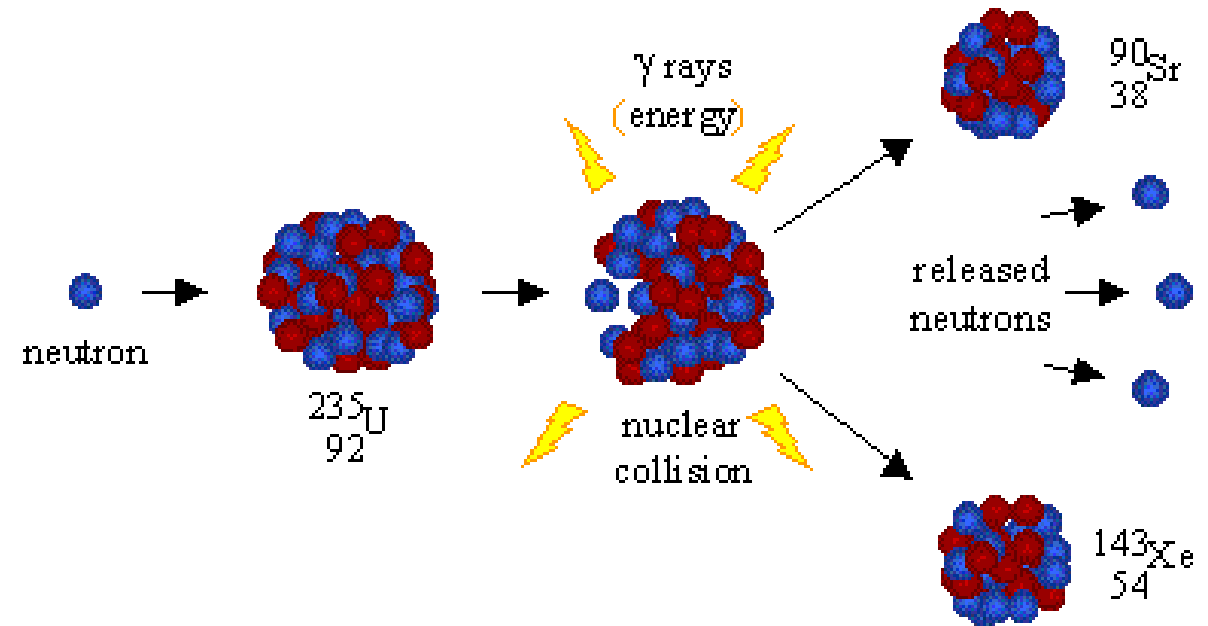
ESTABILIDAD → equilibrio de fuerzas.

ESTRUCTURA ATÓMICA Y NUCLEAR

2.3. Reacciones nucleares

Gran parte del conocimiento actual de la estructura de los núcleos proviene de experimentos en los que un nucleido A particular es bombardeado con un proyectil a . El proyectil experimenta una de tres posibles interacciones:

- (i) **dispersión elástica:** no se produce transferencia de energía; sin embargo, el proyectil cambia de trayectoria;
- (ii) **Dispersión inelástica:** el proyectil ingresa al núcleo y se emite nuevamente con menos energía y en una dirección diferente. y
- (iii) **reacción nuclear:** el proyectil a entra en el núcleo A , que se transforma en el núcleo B y se emite una partícula diferente b .



ESTRUCTURA ATÓMICA Y NUCLEAR

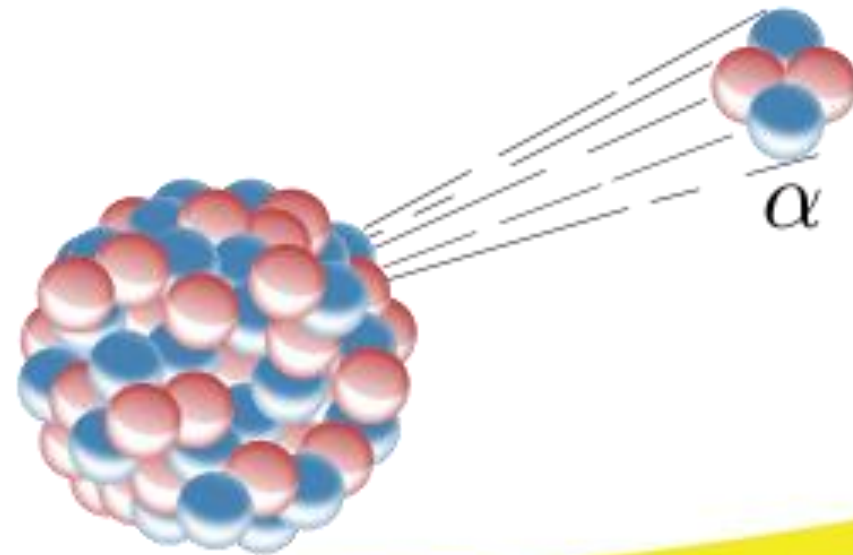
2.4. Radiactividad

- La radiactividad es un *fenómeno natural* por el que algunos átomos se transforman en otros emitiéndose en el proceso distintos tipos de radiaciones. Existe el decaimiento nuclear, alfa (α), beta (β) y gamma (γ).
- Si consideramos una muestra de material radiactivo con un gran número de átomos, cada uno de ellos con una probabilidad de decaer radiactivamente, en cada instante se producirán varios decaimientos.
- El número de decaimientos radiactivos por unidad de tiempo se conoce como *actividad* de la muestra, y su unidad de medida es el bequerelio (Bq) que equivale a un decaimiento por segundo. También se utiliza el curio (Ci) que vale 3.7×10^{10} Bq.
- El tiempo necesario para que la actividad de una muestra de un determinado material radiactivo pase a ser la mitad se conoce como *periodo de semidesintegración*. Por ejemplo: el Co^{60} tiene un valor de 5.27 años. En dos periodos de semidesintegración la actividad disminuye a la cuarta parte de la inicial.

ESTRUCTURA ATÓMICA Y NUCLEAR

2.5. desintegración alfa

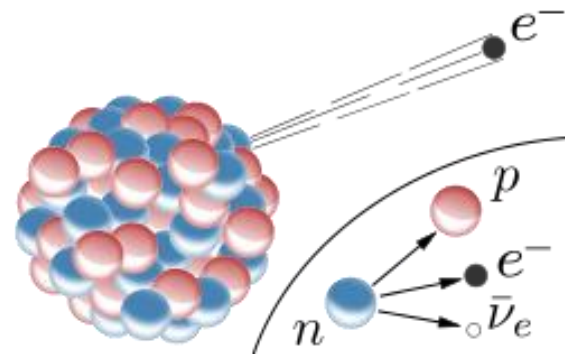
- Ocurre en aquellos nucleídos que para alcanzar su estabilidad emiten partículas formadas por dos protones y dos neutrones. Estas son núcleos de helio que se desvían al atravesar campos eléctricos y magnéticos, son muy poco penetrantes aunque sí muy energéticas e ionizantes.
- Consecuentemente el elemento emisor disminuye su Número Másico en cuatro unidades y su Número Atómico en dos unidades. Este tipo de radiación la emiten elementos pesados situados al final de la tabla de nucleídos ($A > 100$).
- El proceso es monoenergético ya que el tipo de núcleo que se esté desintegrando, siempre que lo haga por este mecanismo, emitirá partículas alfa con la misma energía.



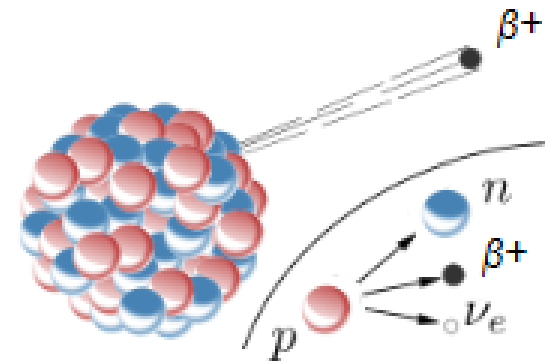
ESTRUCTURA ATÓMICA Y NUCLEAR

2.6. Desintegración Beta

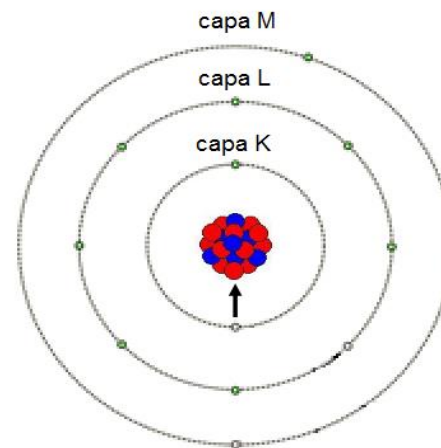
- **Negativo:** transformación espontánea de un neutrón con la ganancia de un protón que origina la emisión de una partícula β^- y un antineutrino.



- **Positivo:** emisión de positrones (antipartícula del electrón), conversión de un protón en un neutrón con la emisión de un neutrino.



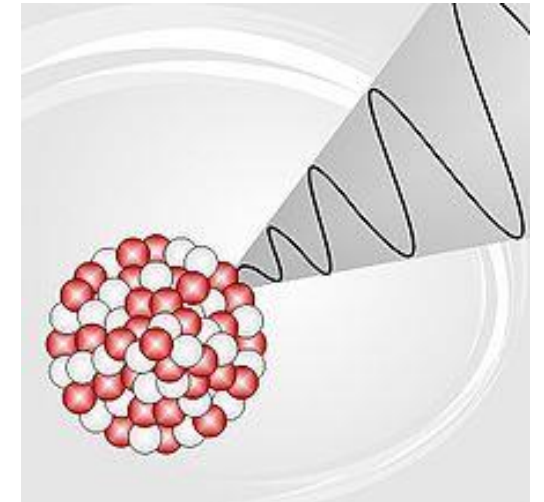
- **Captura electrónica:** proceso de desintegración que ocurre cuando el núcleo con exceso de protones, captura un electrón de los orbitales próximos a él. Un protón se transforma en un neutrón y se emite un neutrino dando lugar a una transmutación.



ESTRUCTURA ATÓMICA Y NUCLEAR

2.7. Desintegración Gamma

- Se trata de emisión de fotones (radiación electromagnética) de longitud de onda asociada corta y con un gran poder de penetración en la materia
- El núcleo no pierde su identidad sino que se desprende de la energía que le sobra para pasar a otro estado de energía más baja emitiendo fotones, muy energéticos también llamados *rayos gamma*. El elemento emisor no varía su número másico ni su número atómico pero pierde una determinada cantidad de energía
- Es el tipo más penetrante de radiación. Al ser ondas electromagnéticas de longitud de onda corta, tienen mayor penetración y se necesitan capas muy gruesas de plomo u hormigón para detenerlas.



ESTRUCTURA ATÓMICA Y NUCLEAR

2.8. Desintegración radiactiva

- El decaimiento radiactivo es un proceso espontáneo en el cual la cantidad inicial de átomos disminuye con el tiempo (ya que se transforman por desintegración).
- El resultado es la emisión de radiación ya sea electromagnética o corpuscular y la aparición de un nuevo núcleo, así como la liberación de la correspondiente energía de decaimiento. La periodicidad de este tipo de procesos es característica para cada isótopo de cada elemento.
- Esta disminución del número inicial de átomos radiactivos sigue una cinética exponencial, siendo el número de átomos que se desintegran por unidad de tiempo directamente proporcional al número de átomos presentes en la muestra.

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda \cdot N$$

ESTRUCTURA ATÓMICA Y NUCLEAR

2.8. Desintegración radiactiva (cont.)

Luego:

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt$$

Luego de integrar la expresión y tomando exponenciales se tiene:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

Que constituye la ***fórmula de la desintegración radiactiva.***



ESTRUCTURA ATÓMICA Y NUCLEAR

2.8. Desintegración radiactiva (cont.)

Periodo de semidesintegración: o periodo de semivida ($T_{1/2}$), es el tiempo que tiene que transcurrir para que el número de átomos radiactivos de una muestra determinada baje a la mitad. Apliquemos esta definición en la ley de desintegración radiactiva:

Vida media (τ): es el promedio de vida o tiempo que, por término medio, tarda un núcleo en desintegrarse. Es la inversa de la constante de desintegración:

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T_{1/2}}{\ln 2}$$

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}}$$

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda T_{1/2}}$$

$$\ln \frac{1}{2} = -\lambda T_{1/2} \ln e$$

$$-0'693 = -\lambda T_{1/2}$$

$$T_{1/2} = \frac{0'693}{\lambda} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

ESTRUCTURA ATÓMICA Y NUCLEAR

2.9. Bibliografía

- 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.