

# Tema 3: Reacciones Nucleares

1

## Introducción

- ❖ El descubrimiento de la radiactividad representó un avance muy importante para la ciencia, ya que cambió radicalmente la visión existente sobre la estructura de la materia.
- ❖ El átomo, considerado inmutable podía cambiar espontáneamente su identidad, emitiendo al hacerlo cantidades importantes de energía.

2

## Introducción

❖ Todos los elementos poseen algún isótopo radiactivo. Sin embargo, sólo unos pocos radionucleidos se encuentran en la naturaleza



❖ aquellos que existen desde la formación de la tierra y su  $t_{1/2}$  es suficientemente largo como para no haber desaparecido

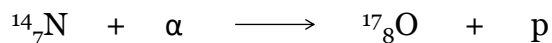
❖ aquellos de período corto que se forman constantemente

3

## Introducción

**¿Cómo fue posible obtener nuevos elementos y radionucleidos no presentes en la naturaleza?**

Experimento de Rutherford (1919)



Núcleo  
Blanco

Proyectil

Núcleo  
Producto

Partícula  
Emitida

abrió el camino hacia la realización del viejo sueño de los alquimistas, pudiéndose transformar:

C → N

Cu → Ni

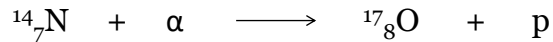
Pb → Au

4

## Introducción

### ¿Cómo fue posible obtener nuevos elementos y radionucleidos no presentes en la naturaleza?

Experimento de Rutherford (1919)



Núcleo Blanco	Proyectil	Núcleo Producto	Partícula Emitida
---------------	-----------	-----------------	-------------------

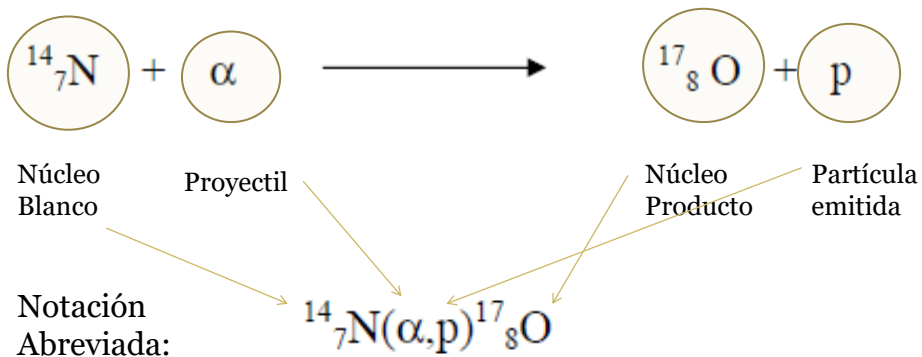
Este tipo de reacciones se denominan **reacciones nucleares**

5

### ¿ Qué es una Reacción Nuclear?

Es el proceso de transformación experimentado por un núcleo al ser bombardeado por otro núcleo o una partícula

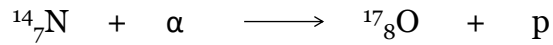
#### Ejemplo:



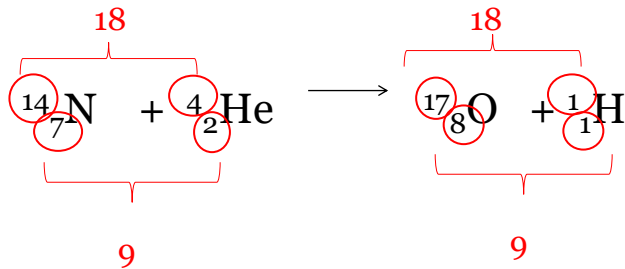
6

## Energía del núcleo Atómico

Experimento de Rutherford (1919)



Conservación de la cantidad de nucleones y de cargas



7

## ¿Qué es un nucleido?

Ejemplos:



8

## Introducción

### Radiactividad Natural

- ❖ Radiactividad propia de los radionucleidos presentes en la naturaleza.
- ❖ Actualmente se conocen aproximadamente 117 elementos y más de 3000 nucleidos, la mayoría de los cuales son radiactivos.

### Radiactividad Artificial

- ❖ Es la radiactividad de los productos de una reacción nuclear
- ❖ Los radionucleidos artificiales al igual que los naturales se desintegran en forma espontánea debido a la inestabilidad de su núcleo

9

## Reacción Química vs Reacción Nuclear

Ambas:

- Producen cambios en el estado energético
- Energía mínima para producirse
- Conservan:

la cantidad de carga

la cantidad de nucleones

la cantidad de movimiento



10

## Reacción Química vs Reacción Nuclear

### Reacción Química

- se producen cambios en los enlaces, pero los átomos quedan intactos
- Energía intercambiada es menor
- Intervienen gran cantidad de átomos/moléculas

### Reacción Nuclear

- Los cambios afectan al núcleo atómico
- Las energías intercambiadas son muy altas
- Intervienen pocos núcleos

11

Las reacciones nucleares pueden ser:

- Exoenergéticas (liberan energía)
- Endoenergéticas ( consumen energía) ➤ Solo son posibles si la  $E_c$  de partícula  $> \Delta E$

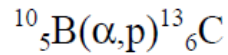
El balance energético se calcula a través de la diferencia de masa entre reactivos y productos

$$\Delta E = \Delta mc^2$$



$$\Delta m = \text{Reactivos} - \text{Productos}$$

12

**Ejemplo**

$$\Delta E = [(M {}^{10}_5\text{B} + M {}^4_2\text{He}) - (M {}^{13}_6\text{C} + M {}^1_1\text{H})] \times 931.5 \text{ MeV/uma}$$

$$M {}^{10}_5\text{B} = 10.012939$$

$$M {}^4_2\text{He} = 4.002603$$

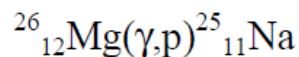
$$M {}^{13}_6\text{C} = 13.003354$$

$$M {}^1_1\text{H} = 1.007825$$

$$\Delta E = 0.004363 \times 931.5 = 4.06 \text{ MeV}$$

**Reacción Exoenergética**

13

**Ejemplo**

$$\Delta E = [M {}^{26}_{12}\text{Mg} - (M {}^{25}_{11}\text{Na} + M {}^1_1\text{H})] \times 931.5 \text{ MeV/uma}$$

$$M {}^{26}_{12}\text{Mg} = 25.982593$$

$$M {}^{25}_{11}\text{Na} = 24.989955$$

$$M {}^1_1\text{H} = 1.007825$$

$$\Delta E = -0.015187 \times 931.5 = -14.1 \text{ MeV}$$

**Reacción Endoenergética**

**Solo es posible si la  $E_c$  de la partícula es mayor que  $\Delta E$**

14

## Probabilidad de las reacciones nucleares

- La probabilidad de que se produzca una reacción nuclear es proporcional a la superficie (o **sección eficaz**) que el núcleo blanco presenta a la partícula incidente para interactuar.

### Factores de que depende la sección eficaz:

- Tamaño del núcleo blanco
- Características de la partícula incidente:
  - Tamaño
  - Carga
  - Energía cinética



Las partículas positivas son repelidas al acercarse al núcleo. Podrán iniciar una reacción nuclear si llegan con E suficiente

15

## ¿CÓMO SE PUEDE AUMENTAR SU ENERGÍA CINÉTICA?

Mediante el uso dispositivos que aumentan la velocidad de partículas cargadas (aceleradores de partículas).

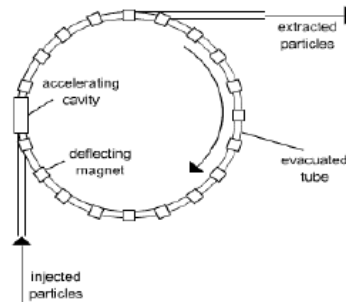
- ❖ Pueden ser circulares o lineales.
- ❖ Funcionan aplicando campos eléctricos o magnéticos a las partículas.

16



### ***Aceleradores circulares***

- Se dividen en ciclotrón y sincrotrón.
- Dispositivos que aceleran partículas aplicando un campo eléctrico.
- La partícula describe una trayectoria circular debido a la acción de un campo magnético.



17



18

## Tipos de Reacciones Nucleares

Según el tipo de partícula incidente:

- inducidas por **neutrones**
- inducidas por **partículas cargadas**
- inducidas por **radiación electromagnética**

19

## Tipos de Reacciones Nucleares

### Reacciones Inducidas por Neutrones

**FISIÓN NUCLEAR:** división de un núcleo en 2 fragmentos menores, con emisión de neutrones

- Puede ser espontánea o inducida
- Se produce en algunos radionucleidos de Z alto

20

## Tipos de Reacciones Nucleares

### Reacciones Inducidas por Neutrones

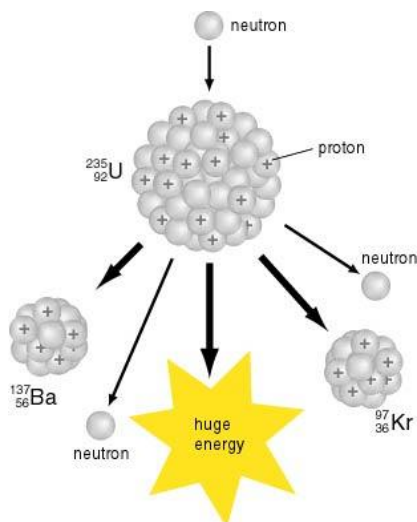
#### Limitaciones

- E de activación elevada
- Fisión espontánea poco frecuente  
Para  $Z < 80$  no es factible la fisión
- Fisión es aplicable como obtención de energía para los núcleos:  $^{233}\text{U}$   $^{235}\text{U}$   $^{239}\text{Pu}$

21

## Tipos de Reacciones Nucleares

### Reacciones Inducidas por Neutrones



La cantidad de neutrones generados varia

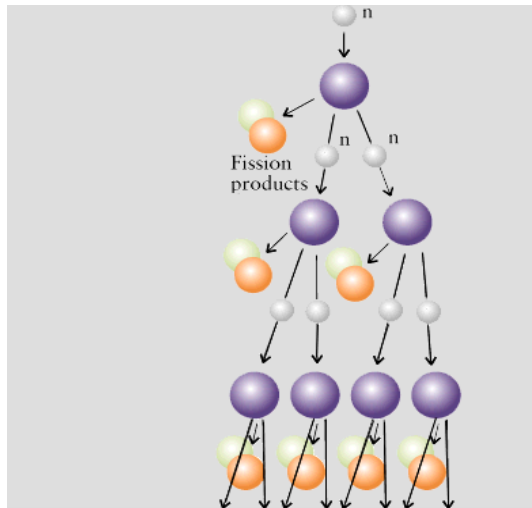
Cada fisión genera más neutrones de los que consume

Cada neutrón generado puede a su vez inducir nuevas fisiones

22

## Tipos de Reacciones Nucleares

### Reacciones Inducidas por Neutrones



**Si cada neutrón  
generado inicia  
una nueva fisión**



**REACCION EN  
CADENA**

23

## Tipos de Reacciones Nucleares

### Reacciones Inducidas por Neutrones

Para que la fisión en cadena se produzca, tiene que cumplirse:

- **Masa crítica:** masa mínima necesaria para que la reacción sea auto sostenida
- **Energía de los neutrones:** debe ser la adecuada para inducir a la fisión.

24

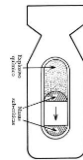
## Tipos de Reacciones Nucleares

### Reacciones Inducidas por Neutrones

Si esto se cumple, tenemos 2 opciones:

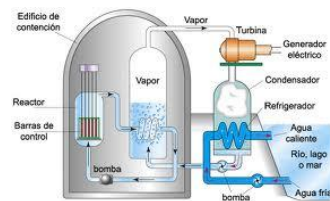
#### Reacción sin control

#### Bomba Atómica



#### Reacción controlada

#### Reactor Nuclear

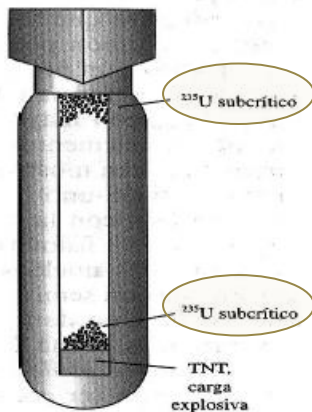


25

## Tipos de Reacciones Nucleares

### Reacciones Inducidas por Neutrones

#### Bomba Atómica



Formada por 2 masas subcríticas de material fisionable  $^{235}\text{U}$  o  $^{239}\text{Pu}$

En el momento de la explosión se juntan formando masa supercrítica

Se utiliza explosivo químico para la 1ª explosión

26

## Tipos de Reacciones Nucleares

### Reacciones Inducidas por Neutrones

#### Reactor Nuclear

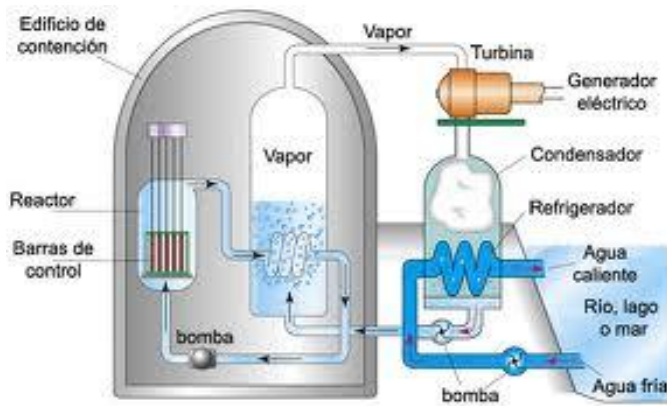
Aprovechamiento de la Energía nuclear para la generación de energía eléctrica y producción de radionucleidos

27

## Tipos de Reacciones Nucleares

### Reacciones Inducidas por Neutrones

#### Reactor Nuclear

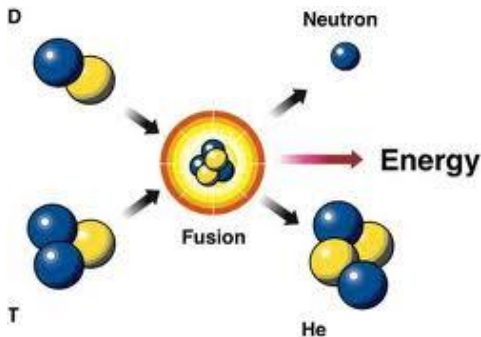


- Núcleo
- Moderador
- Barras de control
- Sistema de Refrigeración
- Blindaje

28

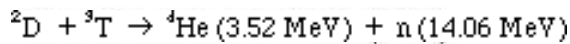
## Tipos de Reacciones Nucleares

### Reacciones de Fusión



Combinación de **núcleos ligeros** para dar un **núcleo de A mayor**

Se **liberan** grandes cantidades de **Energía, ya que aumenta la El/nucleón**

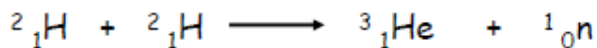


29

### Ejemplos:



Produce 28 MeV/ núcleo de  ${}^4_2\text{He}$



### Problemas técnicos

✓Para vencer la repulsión entre los núcleos se requieren T -  $10^6$  -  $10^8$  °C.

30

## Tipos de Reacciones Nucleares

### Reacciones de Fusión

#### Ventajas

Los productos, en general, no son radiactivos

Se evita la gestión de desechos



#### Problemas

Se necesitan  $T^a$  entre  $10^6$ - $10^8$  °C para vencer repulsiones entre los núcleos

Contenedor adecuado que resista esas  $T^a$

Confinamiento magnético de la reacción



31

## Tipos de Reacciones Nucleares

### Reacciones de Fusión

#### Bomba de hidrógeno

- Aplicación bélica de la fusión nuclear.
- Para alcanzar la  $T^a$  requerida por la Fusión es necesaria la explosión de una carga de fisión nuclear (bomba atómica)
- Expulsión de grandes cantidades de energía

32