

• Modos de Desintegración, Decaimiento y Actividad

El decaimiento radiactivo es el proceso en el que un núcleo inestable se transforma en uno más estable emitiendo partículas y/o fotones y liberando energía durante el proceso. Es radiación electromagnética.

La radiactividad es un proceso de transformación espontánea de núcleos atómicos. Medi

Es un fenómeno estadístico definido sobre una población que va disminuyendo en el tiempo. (No se puede predecir cuándo va a decaer un núcleo en particular).

* ACTIVIDAD

→ Es una magnitud que expresa la velocidad de transformación de los núcleos radiactivos.

$$A = - \frac{dN}{dt}$$

El signo (-) surge de considerar que el número de núcleos radiactivos disminuye en el tiempo.

→ Evolución de la población de átomos radiactivos.

$$\left[\frac{dN}{dt} = -\lambda N \right]$$

$$t=0 \rightarrow N=N_0$$

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

$$t = t_f - t_0$$

$$A = \lambda N$$

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$$

λ = constante de desintegración [$1/s$]

→ Periodo de semidesintegración " $T_{1/2}$ "

Es el tiempo que tarda en reducirse la población inicial a la mitad.

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

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

$$\ln(1) - \ln(2) = -\lambda \cdot T_{1/2}$$

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

→ Vida media " τ "

Es el tiempo promedio que se espera que viva o exista un determinado nucleido hasta su decaimiento.

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = 1,44 T_{1/2}$$

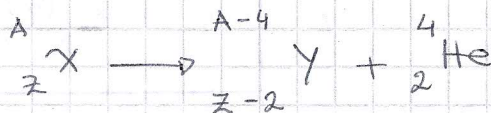
● Modos de Desintegración

Tipos de decaimientos

- ① Decaimiento α
- ② Decaimiento β^- (electrones)
- ③ Decaimiento β^+ (positrones)
- ④ Captura electrónica ϵ
- ⑤ Desexcitación Nuclear por emisión γ (gamma) electromagnética.
 - ↳ Seguido de emisión de partículas α o β .
 - ↳ Transiciones isoméricas
- ⑥ Conversión interna (generación de rayos X característicos).
- ⑦ Electrones Auger
- ⑧ Otras transformaciones
 - Emisión de neutrones o protones.
 - Fisión espontánea.
 - Emisión de cluster (núcleos ligeros más grandes que las partículas α)

① Decaimiento α

Las partículas α son núcleos de helio doblemente ionizado ${}^4_2\text{He}$ (dos protones y dos neutrones con carga 2^+)



→ Balance de masa

(a partir de la formulación de Einstein $\Delta E = \Delta m c^2$)

$[m] \Rightarrow$ masa del núcleo

$[M] = m + Z m_e \Rightarrow$ masa del átomo

$[m_e] \Rightarrow$ masa del electrón

$$\begin{aligned} \Delta E &= c^2 (m_x - m_y - m_\alpha) \\ &= c^2 (M_x - Z_x m_e - (M_y - m_e (\overbrace{Z_x - 2}^{Z_y})) - (M_\alpha - \overbrace{Z_{He} m_e}^2)) \\ &= c^2 (M_x - \cancel{Z_x m_e} - M_y + \cancel{Z_x m_e} - \cancel{2 m_e} - M_\alpha + \cancel{2 m_e}) \end{aligned}$$

$$\Delta E = [M_x - M_y - M_\alpha] c^2 = Q\text{-value}$$

→ Energía disponible de la transición

Todas las partículas α que se originan en un decaimiento nuclear son "MONOENERGÉTICAS", es decir, todas tienen la misma energía.

$$\downarrow \quad \left[\Delta E = E_\alpha + E_N \right]$$

A su vez la energía que adquiere se puede dividir en dos, una correspondiente a la energía cinética de la partícula α y otra que corresponde a la energía cinética del núcleo de retroceso (núcleo hijo).

$$\Delta E = E_\alpha \left(1 + \frac{m_\alpha}{m_N} \right) \quad m_N \gg m_\alpha$$

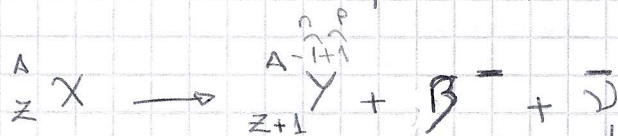
E_α es solo 2% (aproximadamente) más chica que la ΔE .

$\Rightarrow$ El núcleo presenta una barrera energética que las partículas α deben superar para dejar el mismo. Experimentalmente se comprueba que sus energías son menores a la de esta barrera ($> 9 \text{ MeV}$) de aproximadamente 4 MeV . El fenómeno por el cual estas partículas dejan el núcleo con una energía inferior se denomina efecto túnel.

② Decaimiento β^-

Las partículas β^- son electrones que se originan en el núcleo. En particular en núcleos con un exceso o gran número de neutrones.

neutrón $\rightarrow$ protón + electrón



$\bar{\nu}$ antineutrino
(antipartícula del electrón).
Su masa se considera despreciable.

$\rightarrow$ Balance de masa

$$\Delta E = (m_X - m_Y - m_{\beta^-}) c^2$$

$$M = m_n + Z m_e$$

$$\Delta E = [M_X - Z m_e - (M_Y - (Z+1) m_e) - m_e] c^2 \quad m_{\beta^-} = m_e$$

$$= [M_X - \cancel{Z m_e} - M_Y + \cancel{Z m_e} + \cancel{m_e} - \cancel{m_e}] c^2$$

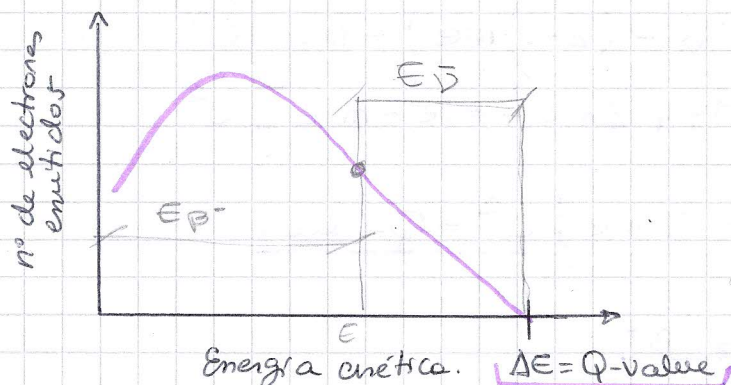
$$\therefore \boxed{\Delta E = [M_X - M_Y] c^2 = Q\text{-value}}$$

$\rightarrow$ Energía de los partículas β^-

La desintegración β^- al igual que el caso del β^+ presenta un espectro continuo de energía en oposición al caso de las partículas α que son monoenergéticas.

Si bien la energía de las partículas β^- deberían ser iguales a la diferencia de energía entre el núcleo original y el resultante $[\Delta E]$, se observa que parte de la energía desaparece, y esto se debe a la existencia de una partícula sin carga (explicación propuesta por Pauli), denominada antineutrino para el caso del β^- .

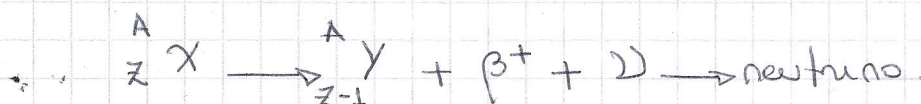
→ Espectro de energía para β^-



③ Decaimiento β^+

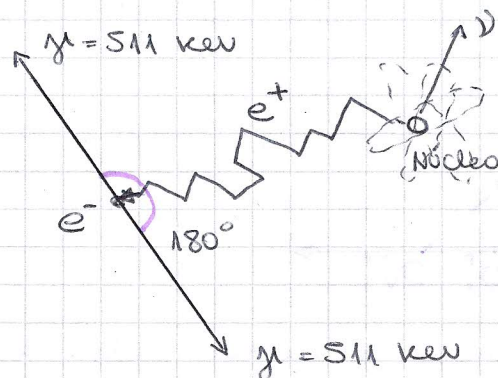
Las partículas β^+ (positrones) son electrones de carga positiva que se originan en el núcleo. En particular en núcleos con exceso de protones.

Protón $\longrightarrow$ Neutrón + electrón positivo



→ Aniquilación de positrones

El positron eyectado pierde su energía por colisiones con los electrones del medio, cuando su energía cinética es cercana al reposo se aniquila con un electrón del medio y se emiten dos fotones de 511 keV a un ángulo de 180° .



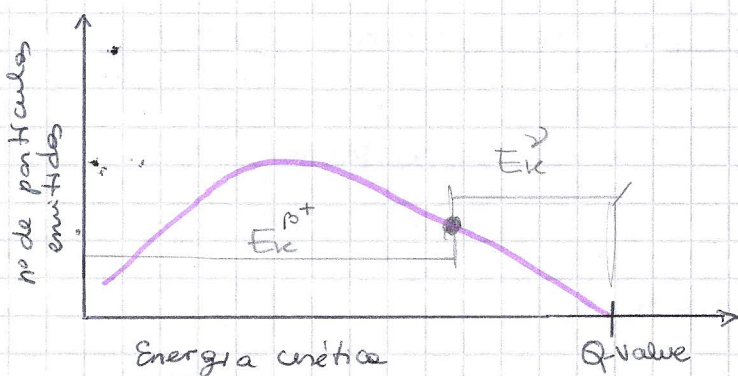
→ Balance de masa

$$\begin{aligned}\Delta E &= [m_x - m_y - m_{\beta^+}] c^2 & M &= m_n + Z m_e \\ &= [M_x - Z m_e - (M_y - (Z-1) m_e) - m_e] c^2 \\ &= [M_x - Z m_e - M_y + Z m_e - m_e - m_e] c^2 \\ \Delta E &= [M_x - M_y - 2 m_e] c^2 = Q\text{-value}\end{aligned}$$

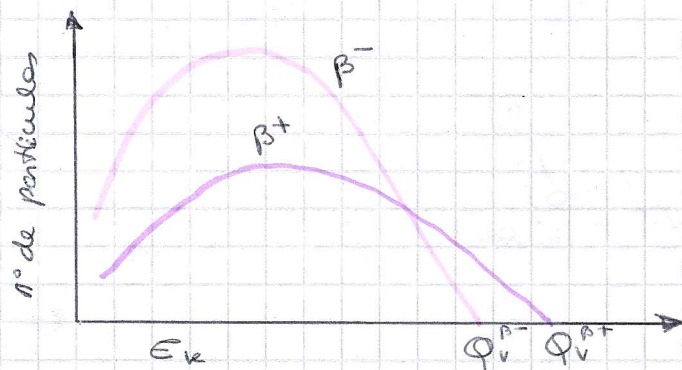
→ Energía de los partículas β^+

Al igual que para el caso del β^- , el β^+ presenta un espectro continuo de energía, y la energía disponible ΔE o Q -value se reparten entre la energía cinética que se lleve el neutrino y la que se lleve la partícula β^+ de la misma manera que sucede con el β^- .

→ Espectro de energía β^+



● Comparación de espectros β^+ y β^-

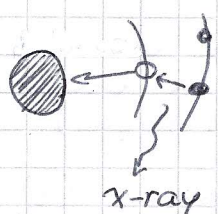
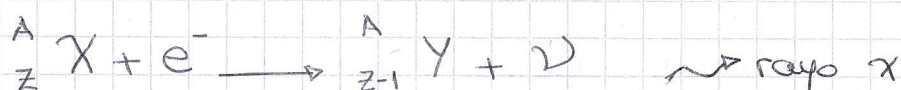


El núcleo ejerce una fuerza atractiva sobre la partícula β^- (fuerza de Coulomb) que produce una pérdida de energía cinética por parte de la misma, y por eso su Q -value es menor que para el β^+ . El β^+ por el contrario es acelerado, y por eso su Q -value es mayor.

④ Captura electrónica ϵ

Es un proceso alternativo a la emisión de positrones. El núcleo captura un electrón de los capas cercanas al mismo.

Protón + Electrón $\rightarrow$ Neutrón



{ El reordenamiento electrónico conduce a la emisión de rayos x. }

$\rightarrow$ Balance de masa

$$\begin{aligned} \Delta E &= [m_x + m_e - m_y] c^2 & M &= m + Zm_e \\ &= [M_x - Zm_e + m_e - (M_y - (Z-1)m_e)] c^2 \\ &= [M_x - \cancel{Zm_e} + \cancel{m_e} - M_y + \cancel{Zm_e} - \cancel{m_e}] c^2 \end{aligned}$$

$$\Delta E = [M_x - M_y] c^2 = Q\text{-value}$$

⑤ Desexcitación nuclear: Emisión de radiación Gamma γ

La radiación γ es electromagnética, y una transformación de este tipo no representa por lo tanto un cambio en el número atómico del átomo.

La emisión de radiación γ puede estar seguida de una transformación por emisión de partículas α o β .

$\rightarrow$ Transición Isomérica: Los isómeros son nucleidos que se diferencian solo por su estado energético. La transición isomérica es el decaimiento por emisión gamma de los isómeros.

⑥ Conversión interna.

Es un proceso alternativo a la desexcitación del núcleo por emisión de radiación gamma.

La energía disponible para la desexcitación es transferida a un electrón de una capa interna y éste es eyectado fuera del núcleo con una energía cinética igual a la energía contenida por la radiación gamma menos la energía de unión.

$$E_e = E_\gamma - E_0$$

La vacante electrónica se llena con un electrón de una capa externa y como consecuencia se emiten rayos X. (diferencia de energía entre ambas capas).

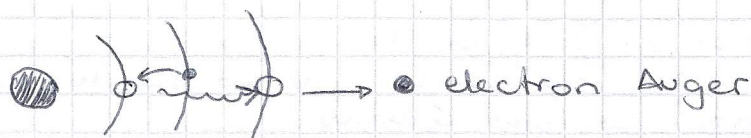
Su probabilidad aumenta con el número atómico (Z) y ocurre generalmente para la capa K.

Los rayos X son característicos de cada material y corresponden al elemento formado del decaimiento, es decir, a la hija.

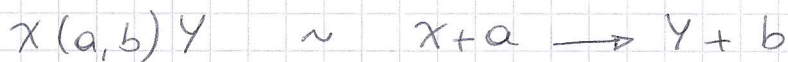
⑦ Electrones Auger

Compite con el proceso anterior de emisión de rayos X, pero es una transición menos probable para Z creciente.

La energía disponible para la emisión de un rayo X es transferida a otro electrón que es eyectado del núcleo.



● Reacciones nucleares



* Projectiles neutrones $\rightarrow$ en la tabla

$\hookrightarrow$ Reacciones inducidas con neutrones

A) **Neutrones térmicos:** (n, γ) $\rightarrow$ de la fisión de núcleos pesados se obtienen y son de baja energía. (captura electrónica).

B) **Neutrones rápidos:** (n, n') , (n, p) , (n, α) , $(n, 2n)$, $(n, np) \equiv (n, d)$

* Projectiles de partículas cargadas.

$\leftarrow$ en la tabla.

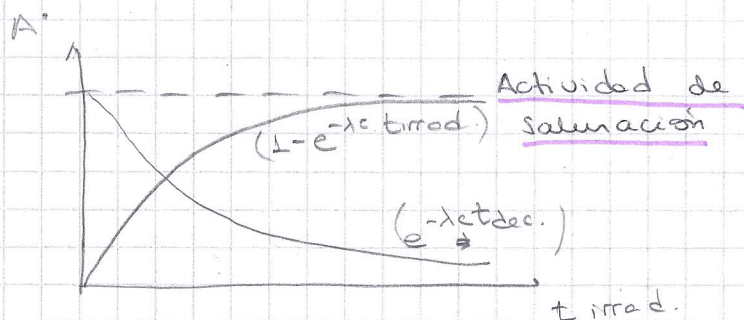
energéticamente no son los mismos.

● Ecuación de Activación

$$A_c = \phi \cdot \sigma \cdot N_0 B (1 - e^{-\lambda_c \cdot t_{\text{irrad}}}) \cdot e^{-\lambda_c \cdot t_{\text{dec.}}}$$

ϕ : flujo de partículas
 σ : sección eficaz.

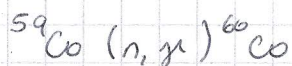
$B(x, \gamma)C$
 $N_0 B$ $\rightarrow$ A_c



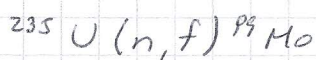
Cuando se alcanza la misma no tiene sentido seguir irradiando porque la velocidad con la que se forma es igual a la velocidad con la que decae.

* Actividad específica [mCi/kg]

Es la actividad de un nucleido por unidad de masa del elemento.



{ posee baja actividad específica porque no se pueden separar los isótopos de un mismo elemento.



{ posee alta actividad específica.

"Szilard - Chalmers"

⇒ Si hay un efecto del tipo "Szilard Chalmers" la actividad específica sube, ya que se produce un cambio químico como el cambio de estado de oxidación que permite la separación de los isótopos, ó cambios en las uniones químicas.

* Concentración de actividad ($\mu\text{Ci}/\text{v}$)

Es la actividad de un radionucleido por unidad de volumen.

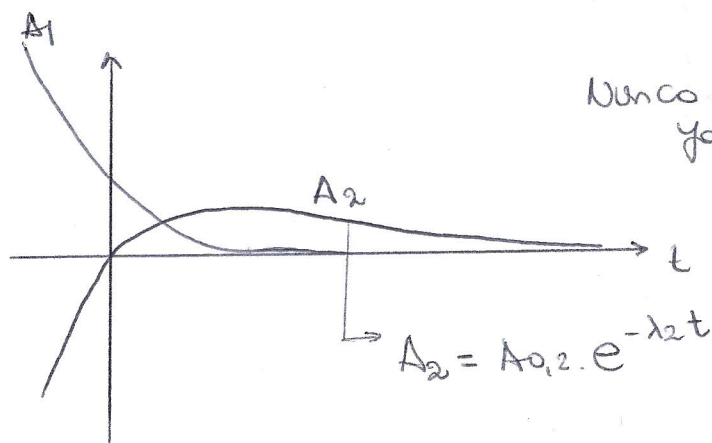
● Criterios de pureza

Pureza {
 nucleidica { la única actividad detectable es la del nucleido de interés.
 radioquímica { El radioisótopo se encuentra formando una única especie química.
 Química { cuando la sustancia de interés no está acompañada de otras diferentes.

No equilibrio

$$T_{1/2 \text{ madre}} < T_{1/2 \text{ hijo}}$$

$$A \Rightarrow \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} < 0$$



Nunca alcanzan el equilibrio
ya que A_1 se consume
antes.

* Se emplea la ecuación general.

Actividad Máxima.

$\Rightarrow$ Expresión general

$$A_2(t) = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} A_{0,1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) + A_{0,2} e^{-\lambda_2 t}$$

$$N_2(t) = \underbrace{\frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{0,1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})}_{\text{Supongo cero inicialmente}} + N_{0,2} e^{-\lambda_2 t}$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \frac{-\lambda_1^2}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{0,1} e^{-\lambda_1 t} - \left(\frac{-\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \right) N_{0,1} e^{-\lambda_2 t}$$

Cuando $t = t_{\max} \rightarrow \frac{dN_2}{dt} = 0 \rightarrow \text{máximo}$ ~~(abandonando)~~
~~parte~~ de la curva

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} (\cancel{\lambda_2 - \lambda_1}) (N_{0,1} e^{-\lambda_2 t} - N_{0,1} e^{-\lambda_1 t}) = 0$$

$$\underbrace{\lambda_1 N_{0,1}}_{\neq 0} \underbrace{(e^{-\lambda_2 t} - e^{-\lambda_1 t})}_{= 0} = 0$$

Formulas

$$A = - \frac{dN}{dt}$$

$$A = \lambda N$$

$$\Delta \alpha = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

$$\Rightarrow T_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda}$$

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = 1,44 T_{1/2}$$

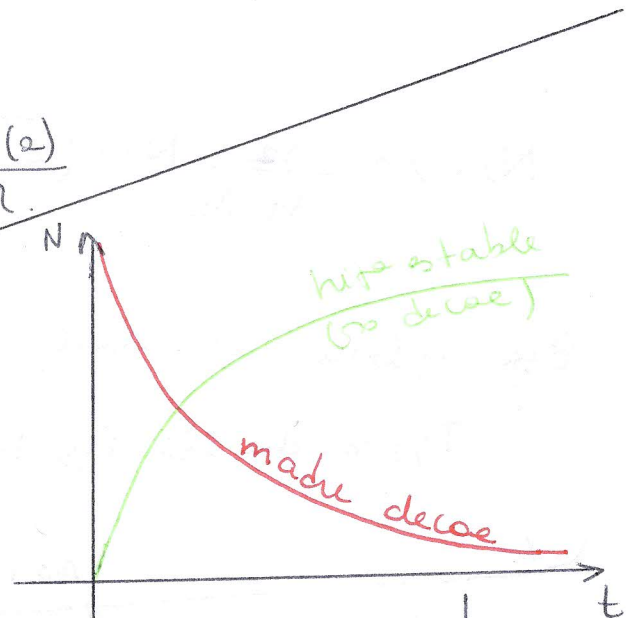
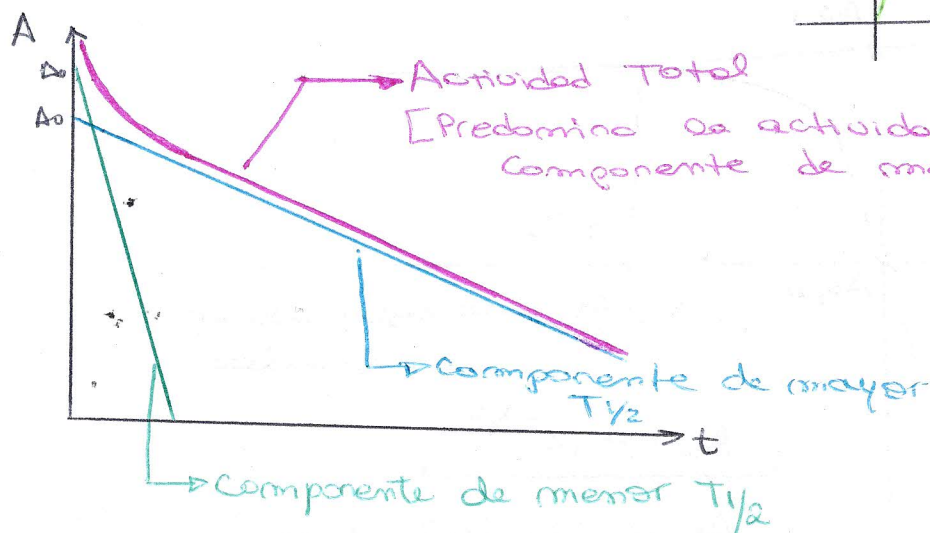
$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

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

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

* Mezclas de Radionucleidos

$$A_{\text{total}} = A_1 + A_2$$



$$N_2(t) = (1 - e^{-\lambda_1 t}) \cdot N_{01}$$

* Radionucleidos Relacionados

Madre $\rightarrow$ hijo.

Equilibrio $\left\{ \begin{array}{l} \text{secular } T_{1/2} \text{ madre} \gg T_{1/2} \text{ hijo} \\ \text{transitorio } T_{1/2} \text{ madre} > T_{1/2} \text{ hijo} \end{array} \right.$

No equilibrio $\left\{ T_{1/2} \text{ madre} < T_{1/2} \text{ hijo} \right.$

Actividad Madre-Hijo.

$$A_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} A_{0,1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) + A_{0,2} e^{-\lambda_2 t}$$

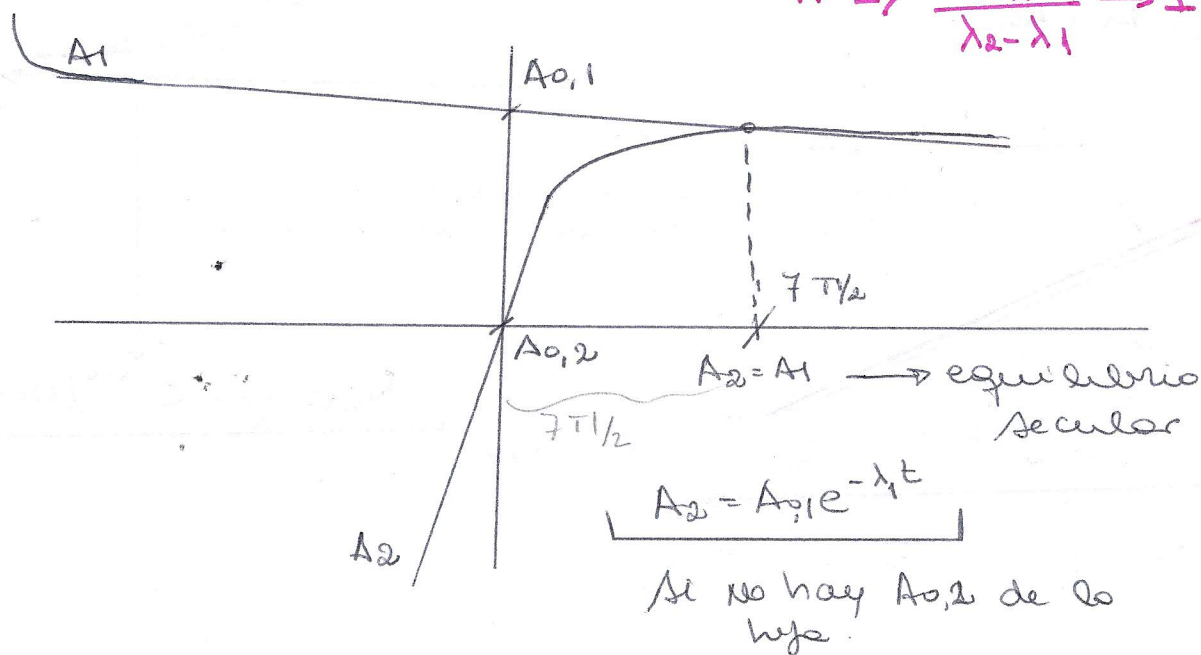
$\downarrow$ a t=0 $\downarrow$ a t=0

$$N_2(t) = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{0,1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) + N_{0,2} e^{-\lambda_2 t}$$

Equilibrio Secular $\rightarrow$ se llega pronto a $7 T_{1/2}$ de la hija aproximadamente.

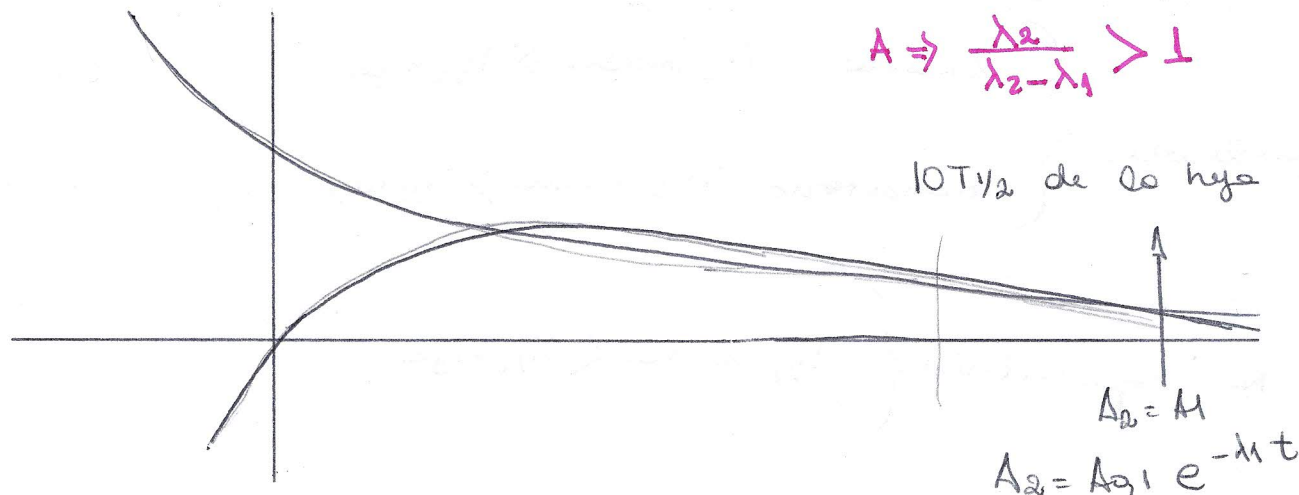
$T_{1/2} \text{ madre} \gg T_{1/2} \text{ hija}$.

$$A \Rightarrow \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \rightarrow 1$$



Equilibrio Transitorio $\Rightarrow T_{1/2} \text{ madre} > T_{1/2} \text{ hija}$

$$A \Rightarrow \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} > 1$$



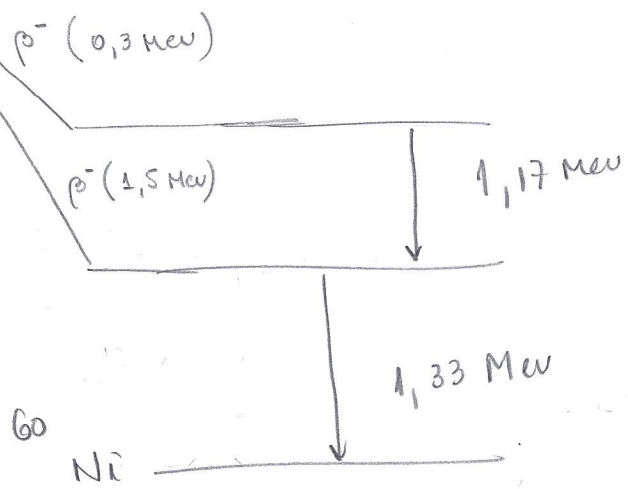
E

60

Co

60

Co



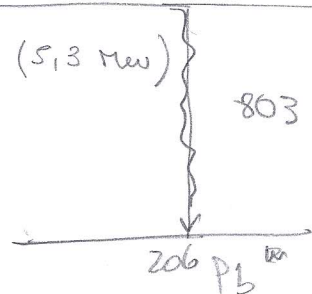
210

Po

α (5,3 MeV)

803 MeV

206 Pb



①
● Precipitación : → Separación y purificación de sustancias.

↳ Tiene que ver con la solubilidad del compuesto.

↳ Solubilidad ⇒ Es cuanto soluto admite una solución saturada.

↳ $\frac{\text{gr/sol}}{\text{lt de sol}}$

↳ Punto de Saturación ⇒ KPS

↳ Es la formación de un Sólido insoluble en el seno de una solución. Para que se forme se debe superar el punto de saturación correspondiente a esa temperatura.

* PROCESOS DE PRECIPITACIÓN

1. Núcleación : Se forman pequeñas aglomeraciones de moléculas en suspensión del precipitado, pero no llega a precipitar.

2. Crecimiento : Se van a ir depositando moléculas alrededor de los núcleos y van a ir creciendo en tamaño.

* Mecanismos de Separación ⇒ Físicos

- ↳ filtrado
- ↳ centrifugado

EFFECTO ION-COMÚN

↳ La solubilidad de la sal iónica disminuye en presencia de un soluto que aporte un ión común. (provocando la precipitación de la sal).

Precipitación fraccionada ⇒ Solo es posible separar algunos de los iones presentes debido a una gran diferencia entre K_{ps} de los sales involucrados.

COPRECIPITACIÓN

↳ Precipitan otros elementos junto con el precipitado que no precipitarían por sí solos (son solubles).

↳ Se da por:

- ① **Adsorción** a la superficie por afinidad electrostática
- ② **Formación de cristales MIXTOS** ocupa el lugar de otro ión en la red.
- ③ **Oclusión** Queda atrapado dentro de la red cuando se forma el cristal.

● Ventajas : Selectivo, gran variedad de aplicación, consume pocos reactivos.

● Desventajas : largo tiempo de digestión, filtrado y lavado (radioactivo → decae), Scavenger no selectivo. Se puede contaminar el precipitado.

Electrodeposición

(2)

↳ Consiste en depositar radionucleidos en solución (ions) en un electrodo mediante una reacción electroquímica (redox) con la aplicación de un voltaje.

⇒ Separación limitada ⇒ No suele ser una separación completa y tarda mucho para soluciones muy diluidas

⇒ Para metales pesados y actínidos es difícil de controlar por la descomposición del agua y reacciones de cationes y aniones en los electrodos.

⇒ Ventajas: Capa uniforme y delgada mejora la resolución espectral

⇒ Desventajas: Muy sensible a la presencia de otras sustancias, No se puede usar en todos los nucleidos, es muy complicada para realizar.

PROCESO PUREX

↳ Reprocesamiento de combustibles irradiados

↳ Se usa **TBP** como solvente de extracción → Resiste la radiación
↳ Es selectivo con U y Pu

↳ Se lo diluye en kerosene

ETAPA 1

→ Se eliminan los productos de fisión, dejando el U y el Pu que pasan a fase orgánica y luego a fase acuosa.

↓
Se usa nitrato en ácido nítrico.

Etopa II $\Rightarrow$ Por cambios en los estados de oxidación se separan el Pu del U. Para ello pasan por sucesivos etapes de fase acuosa y orgánica y lavados.

Etopa III $\Rightarrow$ Etapa de lavado del U.

El solvente es descontaminado y regenerado.

● Reactivos de separación

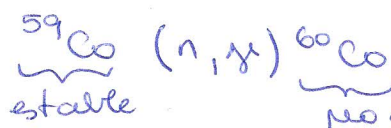
SR Resin

Teva Resin

TRW Resin

Expresión de Actividades.

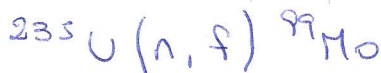
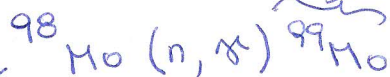
→ **Actividad específica**: actividad de un radionucleido por unidad de masa del elemento



no los puedo separar
porq' comparten la
masa, son isotopos
del mismo elemento

$$\left[\frac{\text{Bq}}{\text{masa Co}} \right]$$

importante para la
medicina nuclear.



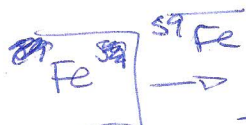
por fisión → es más
difícil pero tengo
solo ${}^{99}\text{Mo}$.

(alta actividad específica)

Es más fácil pero la actividad ~~especifica~~
está limitada por la masa de
ambos isotopos.
(baja actividad específica)

→ Si en la reacción me muevo sobre la línea
de los isotopos tengo muy baja actividad específica
(n, γ) (γ, n) ($n, 2n$) (d, p).

→ Pero si hay un efecto Szilard Chalmers, la
actividad específica sube mucho debido a
un cambio químico que se produce como
por ejemplo el cambio en el estado de
oxidación.



Es bueno como medidor de flujo
térmico → γ 1099 muy grande. (n, γ)

→ permite por (n, p) monitorear flujo
rápido. → sale una partícula rápida,
son reacciones umbrales. (en función
de las secciones eficaces → no está en
la tabla de radionucleidos)

Monitor de flujo } Debe tener sus datos nucleares muy bien definidos y sus secciones eficaces también.

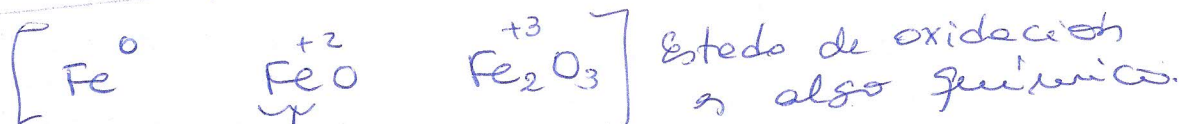
② Doble captura neutrónica

Se requiere flujo alto y muy buenas secciones eficaces.

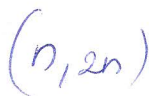
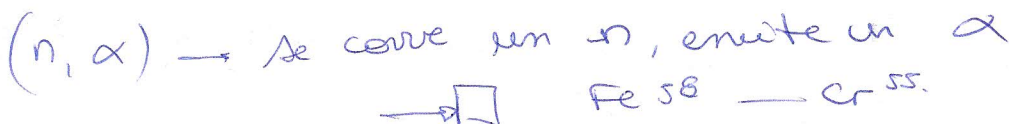
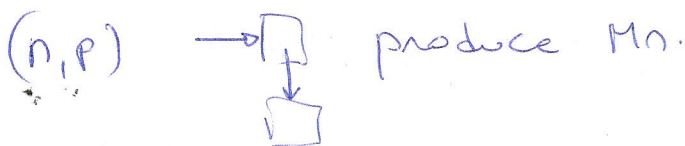
* PRÁCTICA Reacciones Nucleares.

① Fe con n.

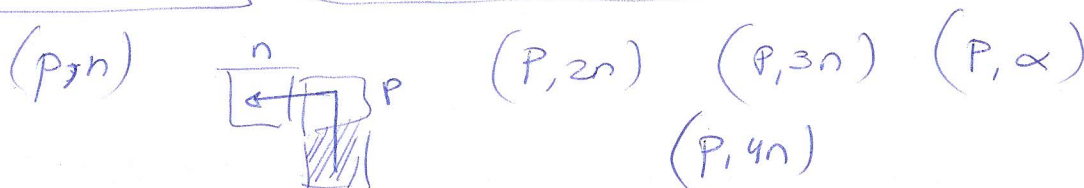
En un silbato-Cholmer → Un caudal en la estructura cristalina, cambia el estado de oxidación.



↓
[Están todos los isótopos en su proporción isotópica]



② Z con P / (Tiene 5 protones)

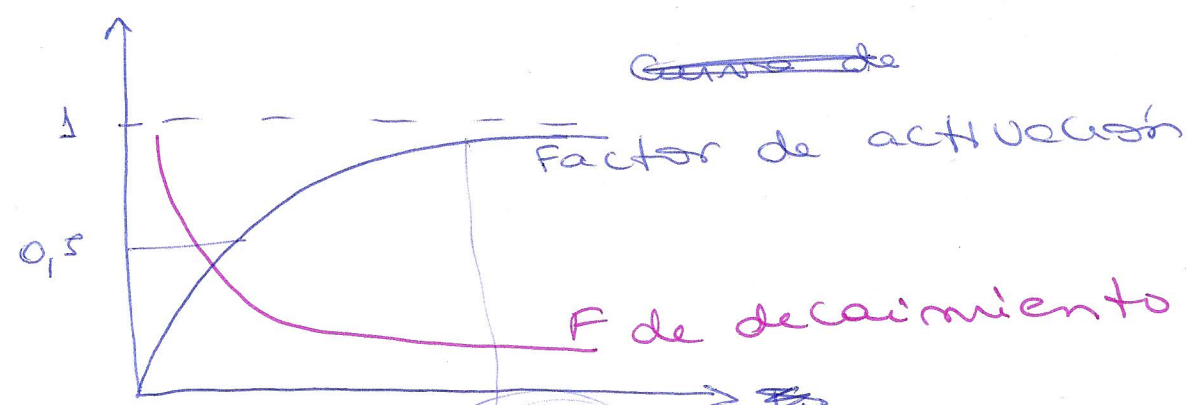


1) Ti con deuterio $^2\text{H} \Rightarrow (p-n)$

4) O con α

5) Fe con n $\rightarrow$ flujo

$$A = \phi \sigma N_0 (1 - e^{-\lambda_{\text{irradiación}} t}) e^{-\lambda_{\text{des}} t}$$



$$C = \left(\frac{t_{\text{irrad}}}{T_{1/2}} \right)$$

1.0 $T_{1/2}$
0.7 $\rightarrow$ con la act de saturación

El periodo es muy largo, no llega a ver nada
Se alcanza la A de saturación

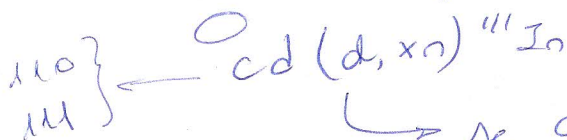
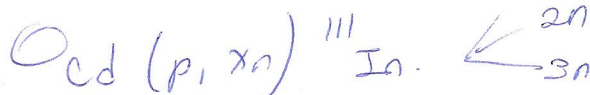
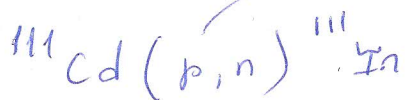
7) $P.1n \Rightarrow$ con ^{68}Zn enriquecido. (blanco)

$P.2n \Rightarrow$ Requiere mayor energía

Reacciones amorales $\Rightarrow$ Flujo Rápido

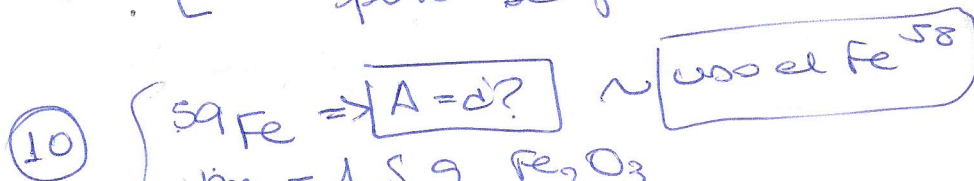
^{90}Sr (estroncio)

solo se puede
puede producir por
fusión, no se puede
por reacciones convencionales
(la complejidad está en
poder separar los productos)



$\rightarrow$ se aceleran con ciclotrón

$[^3\text{H} \rightarrow \text{triton} \Rightarrow \text{partículas radiactivas, pero se pueden acelerar}]$



$m = 1,5 \text{ g } \text{Fe}_2\text{O}_3$

$t_{\text{irr}} = 1 \text{ día}$

$\phi = 2,5 \cdot 10^{13} \text{ ns}^{-1} \text{ cm}^{-2}$

10^{-24} m^2

$\sigma \rightarrow \text{de tabla } (n, \gamma) = 1,3 \text{ b}$

$N_0 \rightarrow \frac{m \cdot \theta \cdot N_A}{t_{\text{dec}}}$

$t_{\text{dec}} = 2 \text{ días PM}$

$A = \phi \sigma N_0 (1 - e^{-\lambda t_{\text{irr}}}) \cdot e^{-\lambda t_{\text{dec}}}$

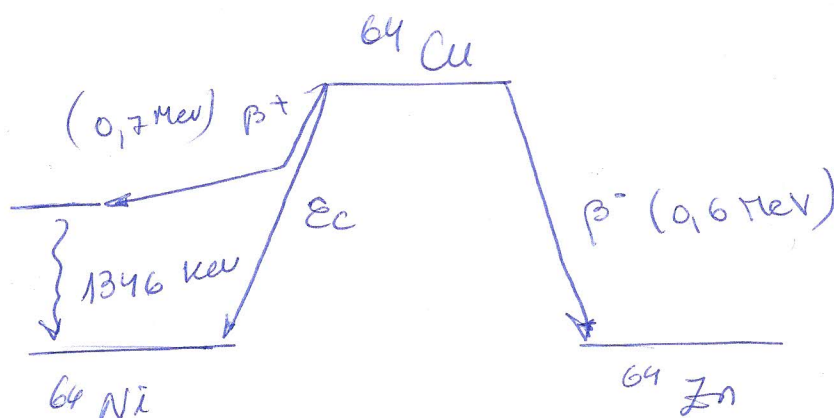
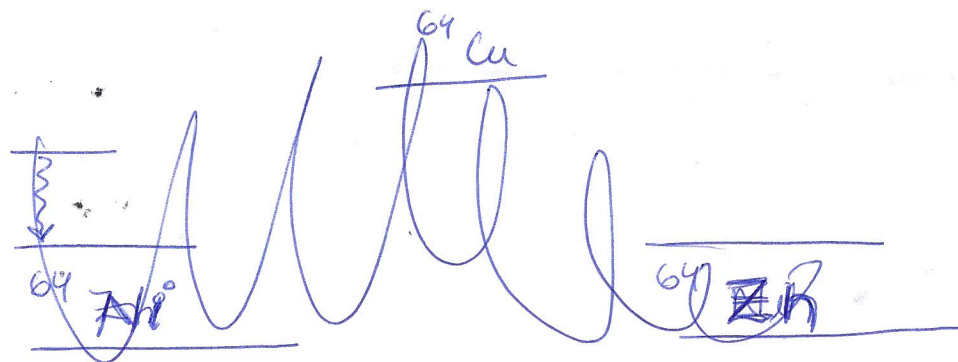
PM Fe_2O_3 ——— 2 mols de Fe.
 1,5 g ——— X

13 $\left[\begin{array}{l} 1,4 \cdot 10^8 \text{ cps} \rightarrow 25\% \\ \text{dps} = \text{Bq} \rightarrow 100\% \end{array} \right]$ Regla de 3

14 (n, γ) y (n, p) → en posición rápida del reactor.

● Esquemas de Decaimiento

^{64}Cu $\left\{ \begin{array}{l} E \\ \beta^- - 0,6 \quad \beta^+ 0,7 \text{ MeV} \\ \gamma = (1346) \text{ keV} \end{array} \right.$



Resultado dos

Ver

① massa I $\xrightarrow{\text{ver}}$ ~~0,0008 mg~~
0,048 mg I¹³¹ $\rightarrow$ 0,00008 mg ✓

② 3,5 ng ✓

③ A = 0,05 mci ✓

④ A = 68,6 nci ver ✓

37 Pt

⑤ A = ~~0,076 Bq~~ 0,063 Bq

⑥ A = 0,039 ci ✓

⑦ A = 4,76 dps = 0,079 dps - n = 184 átomos ✓

⑧ A = 3770 MBq ✓

⑨ ³⁸Cl 7,5 · 10⁻¹² g, Zn 1,2 · 10⁻⁷ g

Ar 2,9 · 10⁻⁵ g ✓

⑩ A = 0,01 Bq ✓

⑪ 0,00731 ✓

⑫ t = 59,81 h ✓

T_{1/2} = 9,97 h

ver

⑬ ~~t = 13,29 T_{1/2}~~ $\rightarrow$ 13,29 T_{1/2} ✓

⑭ $\lambda = 0,0198 \text{ s}^{-1}$

⑮ Edad: 46,17 años. ✓

¹⁴C/14

⑯ Edad: 74545 años. ✓

⑰ Transição - 2 no existe - d secular e secular
f $\rightarrow$ no existe.

⑱ ver tabela

⑲ A = 31,23 mci

⑳ A = 34,16 mci

㉑ A = 61,65 mci

㉒ A = 39,74 mci

㉓ A = 151,68 mci ✓

㉔ A = 29,19 mci

㉕ A = 21,33 mci