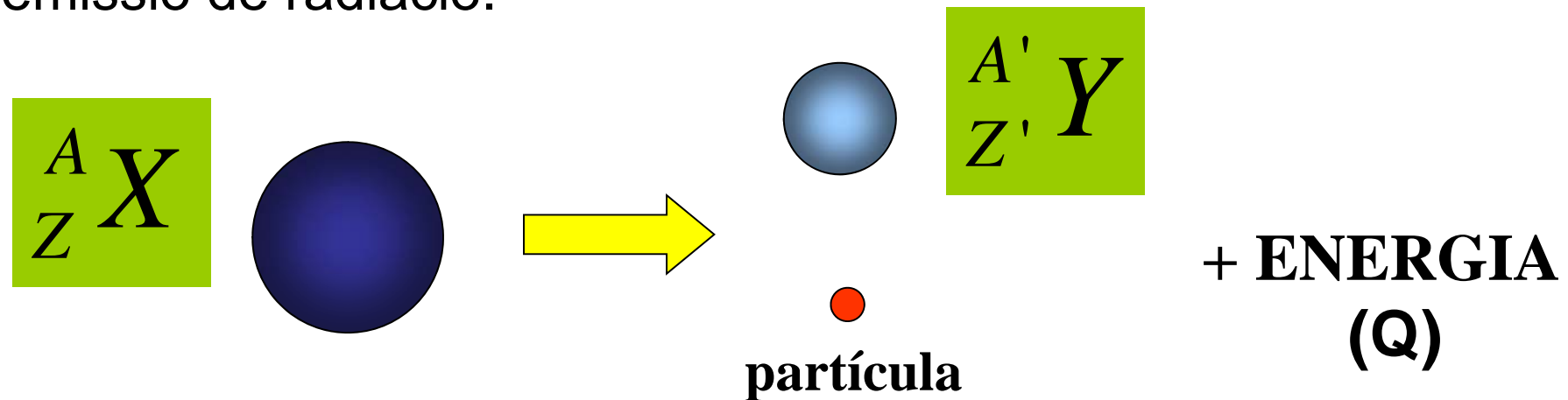




Tema 6

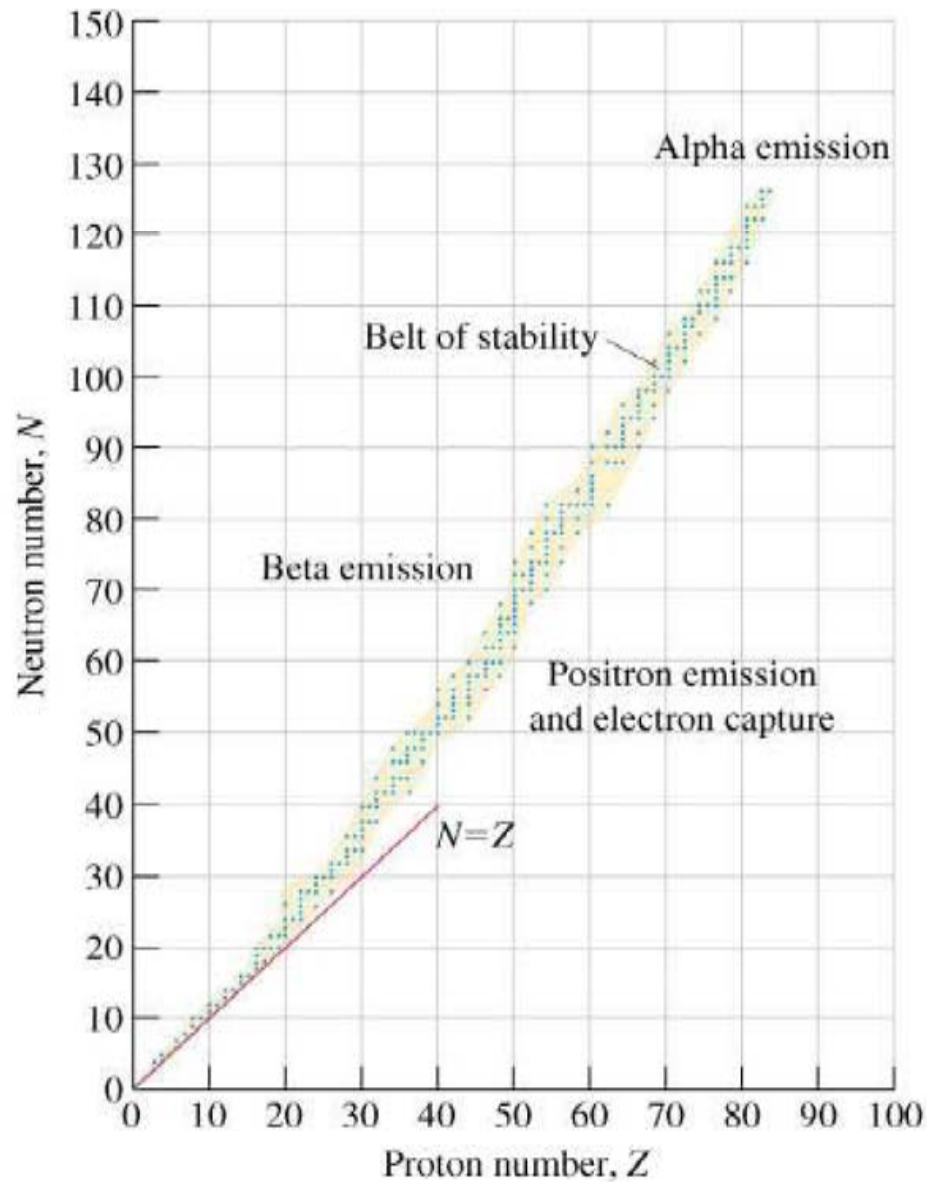
Radioactivitat

•**Radioactivitat:** Fenomen físic pel qual un element radioactiu (amb nucli atòmic inestable) assoleix una major estabilitat a través de la seva transformació a un altre nucli mitjançant l'emissió de radiació.



$$m_X > m_Y + m_{\text{partícula}}$$

$$\text{Energia alliberada: } Q = (m_X - m_Y - m_p)c^2 > 0$$



Estabilitat nuclear →
Equilibri entre forces de repulsió dels protons i força atractiva nuclear

Relació entre neutrons i protons →

- Nuclis lleugers: $N=Z$
- Nuclis pesats: $Z < N < 1,56Z$

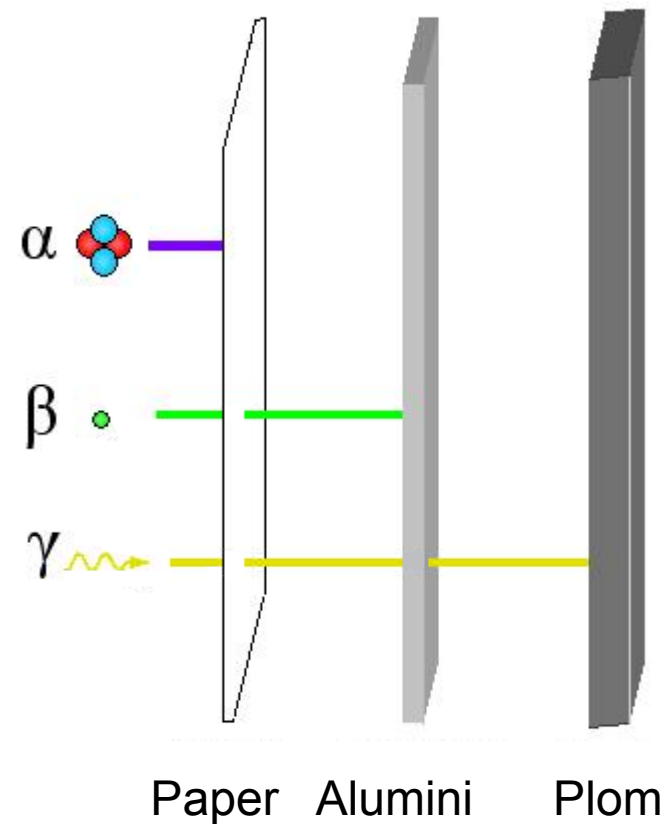
Partícules emeses:

a) Alfa α

b) Beta β

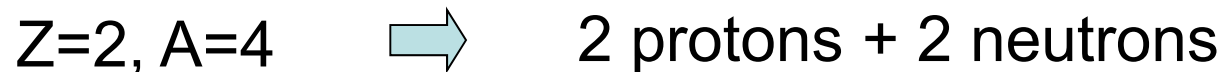
- β^+
- β^-
- Captura electrònica

c) Gamma γ

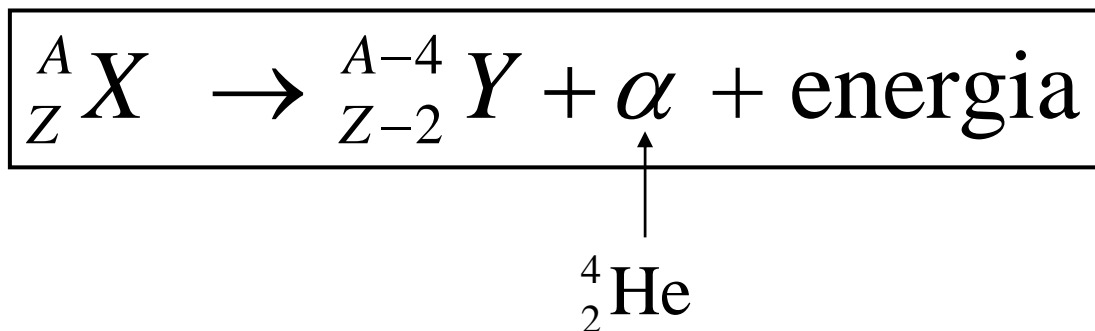


a) Radioactivitat α

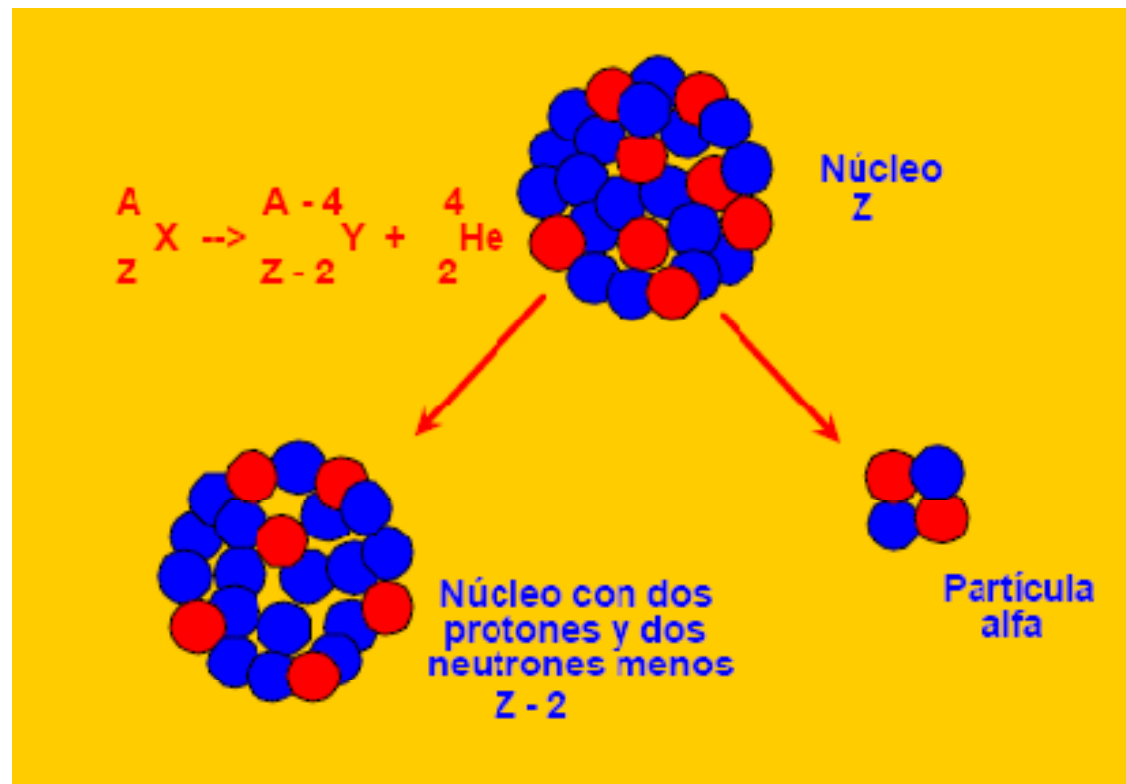
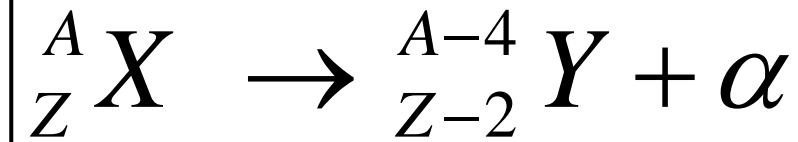
- Les partícules α són nuclis de ${}^4_2\text{He}$



- Massa = 4,002600 uma
- Càrrega (2 protons) = $+3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

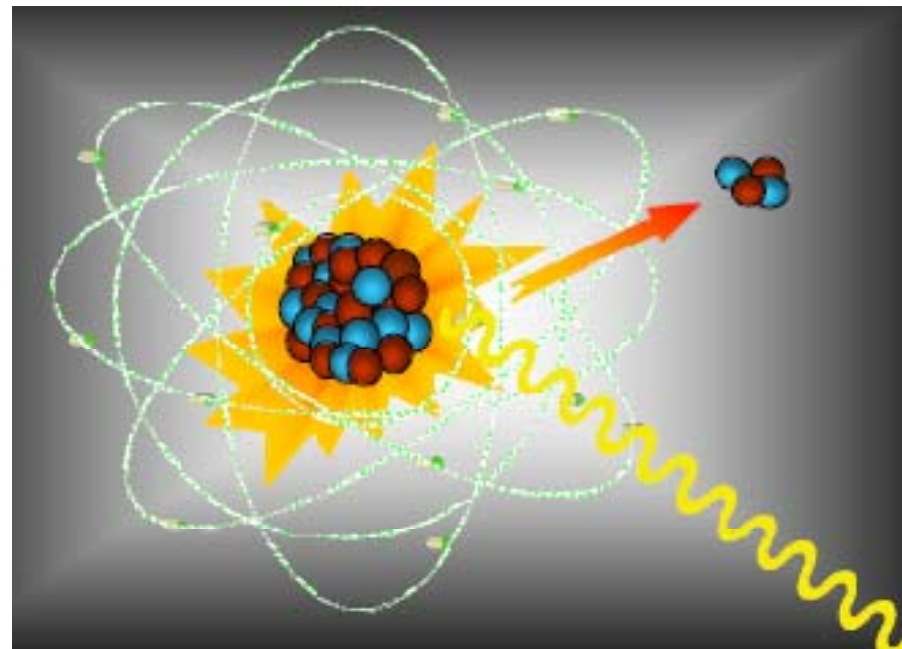


a) Radioactivitat α

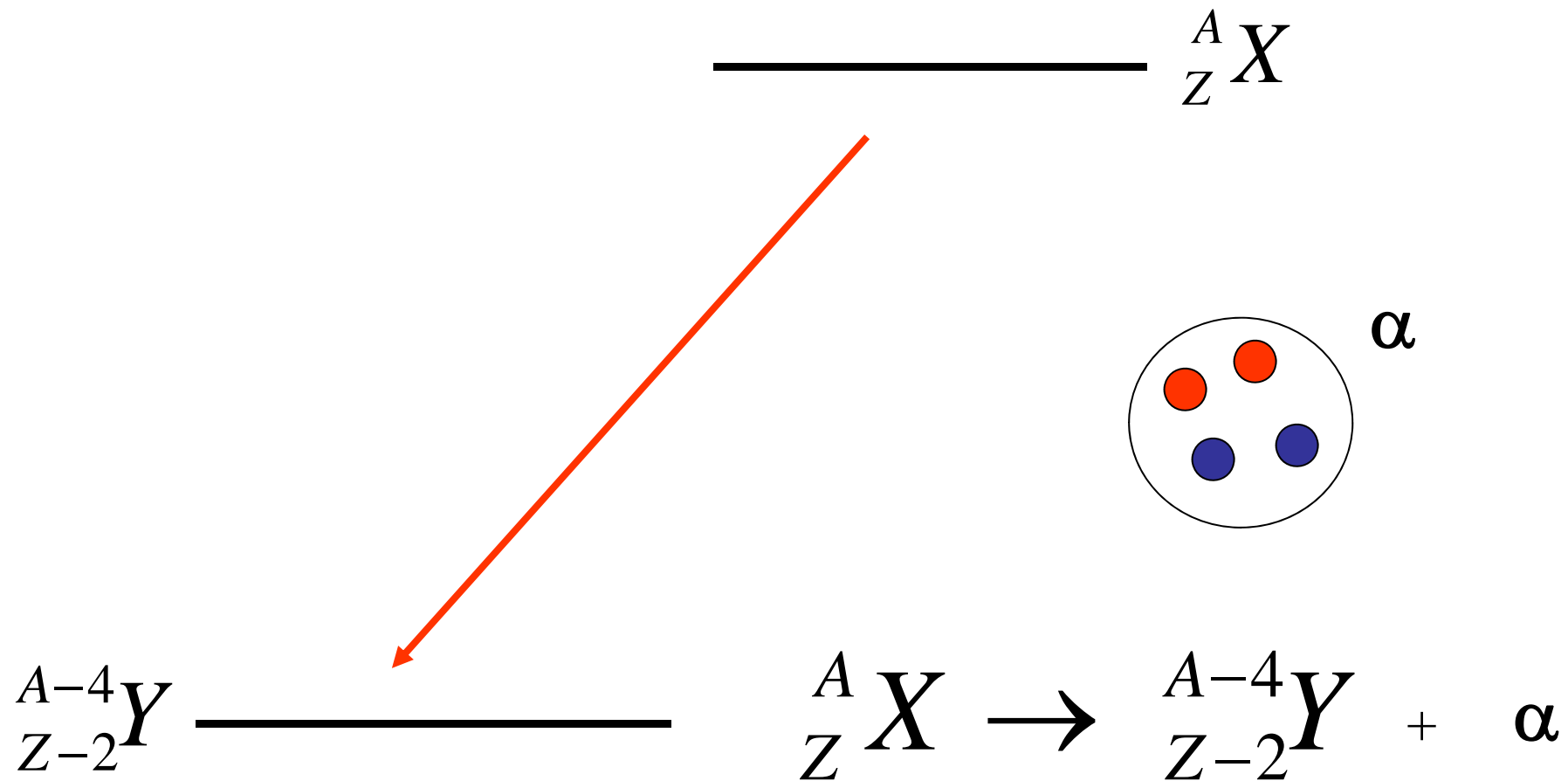


a) Partícules α

- Poc penetrants: un full de paper o uns centímetres d'aire les frenen
- Dipositen tota la seva energia en un recorregut molt curt
- Són pròpies en la desintegració de nuclis pesats
- Solen anar acompanyades d'una desintegració gamma

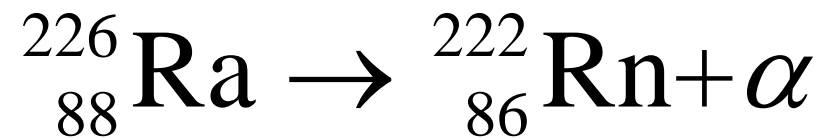
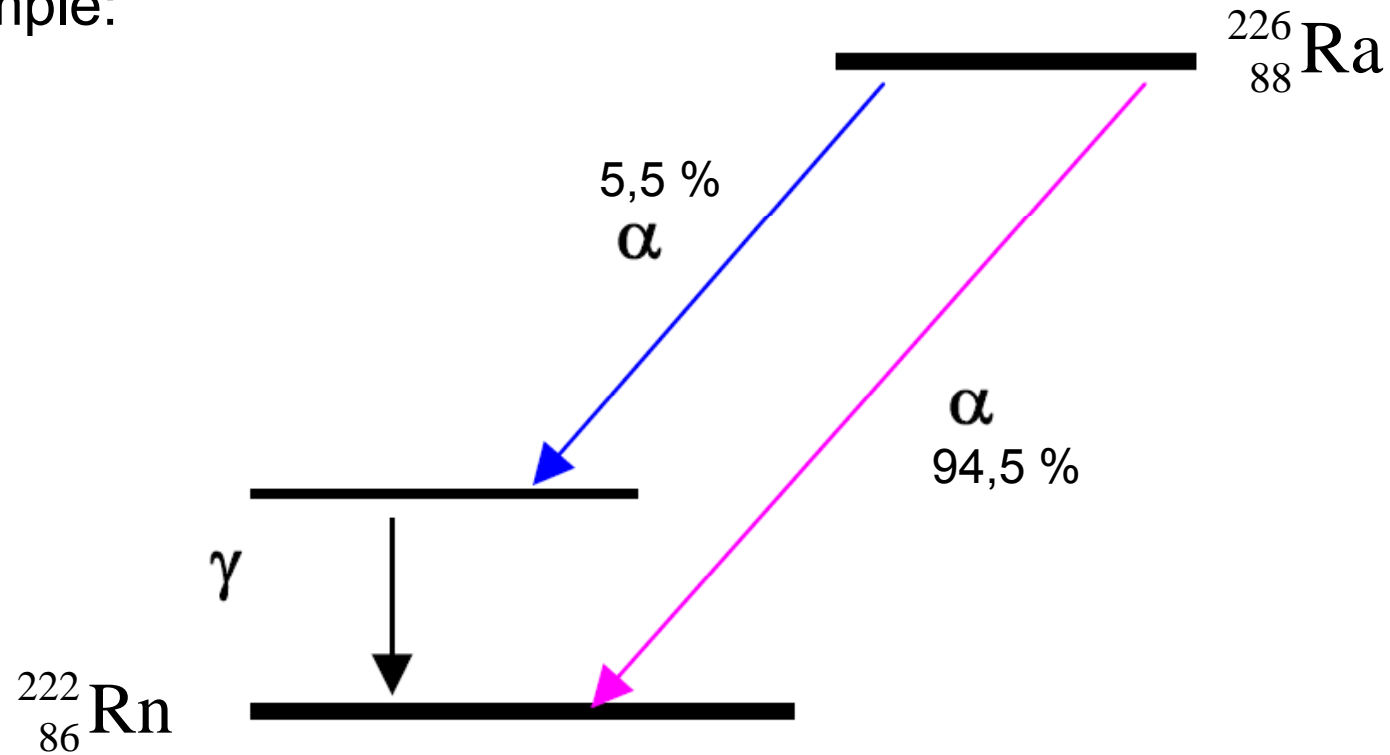


a) Radioactivitat α



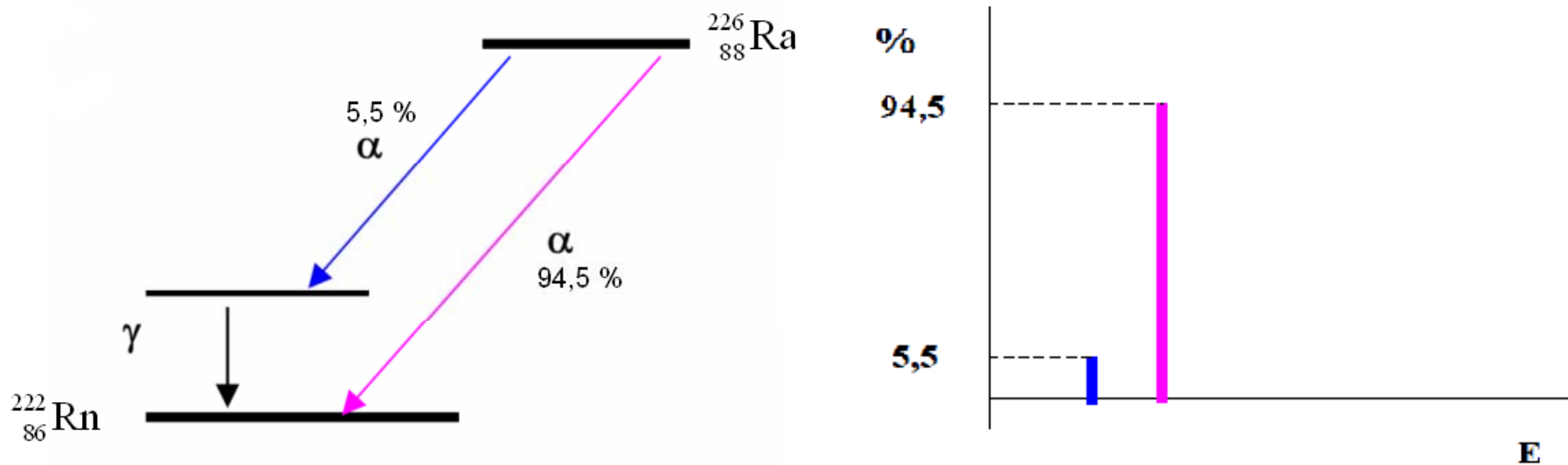
a) Radioactivitat α

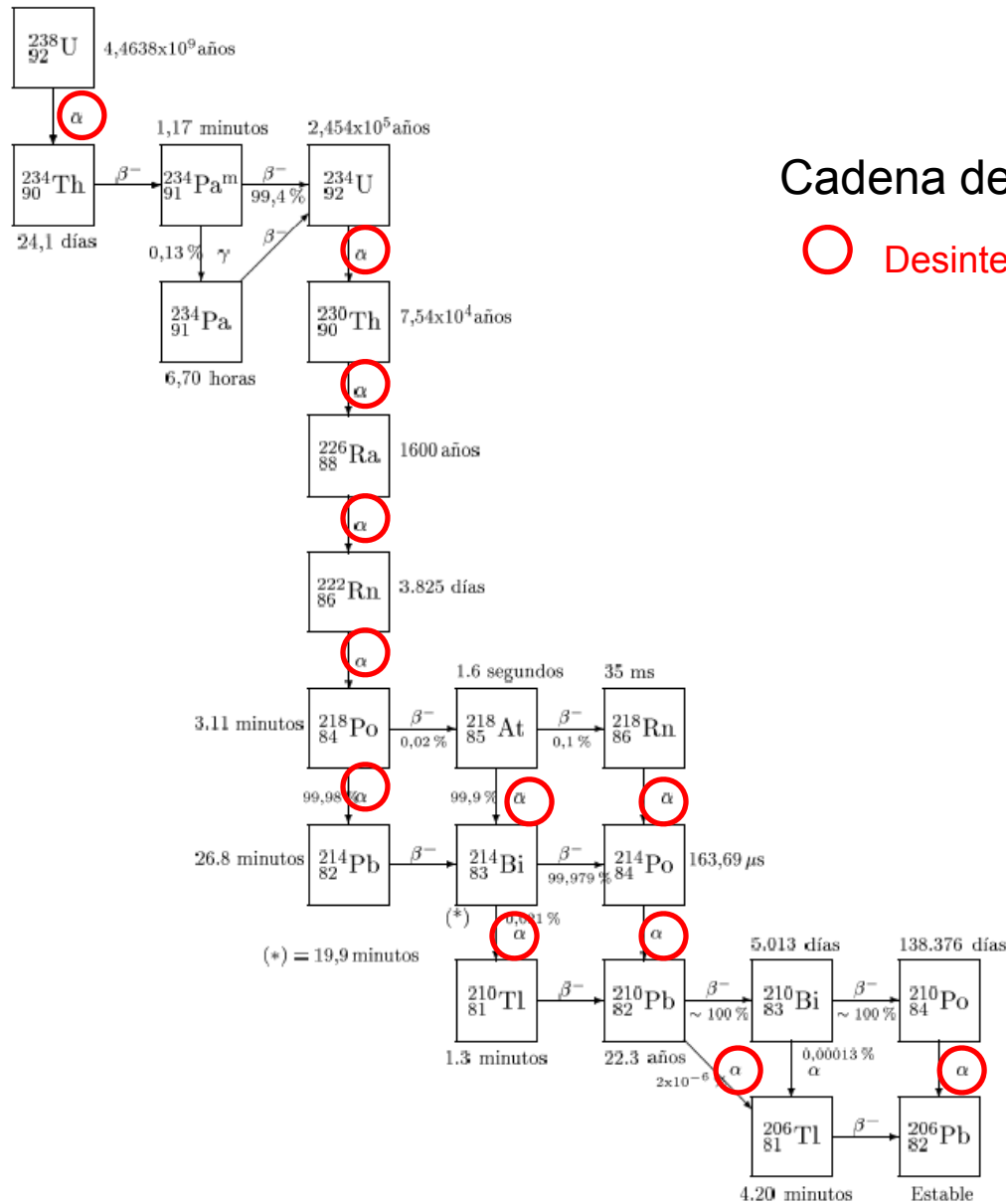
Exemple:



a) Radioactivitat α

L'energia Q alliberada en un procés d'emissió α se l'emporta en major part la partícula α . Això fa que l'espectre energètic d'emissió de partícules α sigui discret.





Cadena de desintegración del ^{238}U

○ Desintegraciones alfa

Las partículas α , como son pesadas y con carga positiva, recorren cortas distancias antes de perder su energía cinética y ser absorbidas por la materia.

Por ello, la radiación α externa no es peligrosa en general, unos pocos cm de aire o la delgada capa de piel muerta de una persona, las absorbe. Tocar una fuente de radiación α no suele ser dañino PERO, su ingestión, inhalación o introducción en el cuerpo sí pueden serlo.

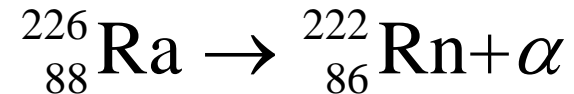


Es muy probable que la causa de la muerte de Marie Curie, por leucemia, se debiera a una exposición prolongada a altas dosis de radiación ionizante. En sus estudios trabajaba con muestras de radio, que decae en radón, que a su vez se desintegra en elementos que emiten rayos beta y gamma.

El disidente ruso Alexander Litvinenko, fue asesinado en 2006, al ser introducido ^{210}Po en su comida en un restaurante de Londres. El polonio radiactivo tras ser ingerido, comenzó a desintegrarse en nuevos elementos radiactivos dañando los órganos de Litvinenko y provocándole la muerte en pocos días por síndrome de irradiación aguda.



a) Radioactividad α : Ejemplos



El radón (Rn) es un elemento radioactivo gaseoso, que se produce en distintas cadenas de desintegración, como la del radio (Ra). Es la principal fuente natural de radioactividad α .

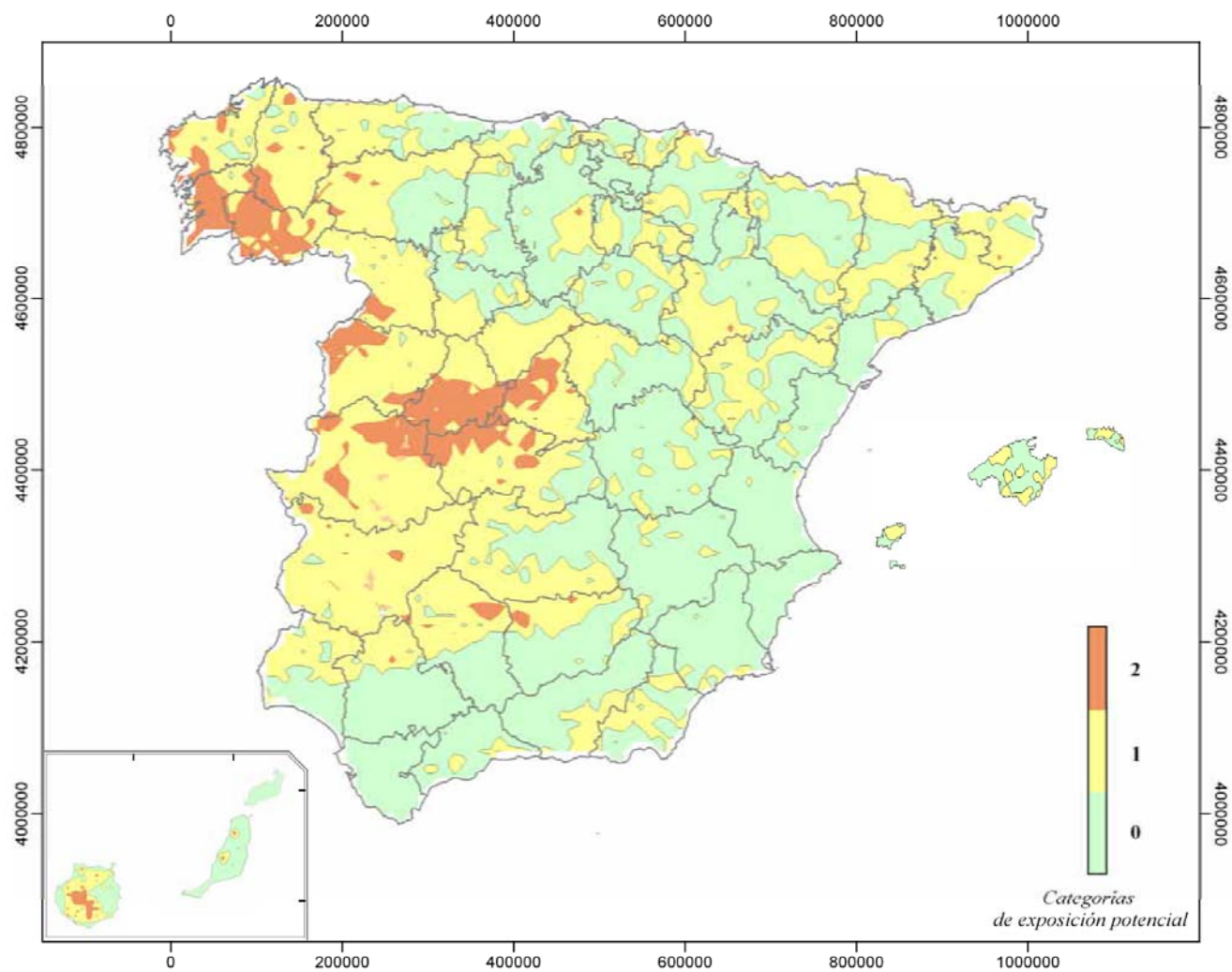
El granito contiene pequeñas cantidades de ${}^{238}\text{U}$ que al desintegrarse, da distintos elementos radiactivos, entre ellos el radón.

El granito es muy abundante en ciertas zonas de España (ver mapa siguiente transparencia).

Los átomos de este gas, pueden unirse a partículas de polvo, y ser respiradas. Dentro de los pulmones, siguen desintegrándose generando nuevos elementos radiactivos y partículas alfa, que pueden dañar las células pulmonares y potencialmente causar cáncer de pulmón, si la exposición es habitual.

Se recomienda, en las zonas en que el granito es muy abundante en el suelo, disponer de ventiladores de extracción de aire, especialmente en sótanos y bodegas de viviendas.

Figura 5.1. Mapa predictivo de exposición al radón que divide el territorio en tres categorías de exposición potencial: baja (0), media (1) y alta (2)

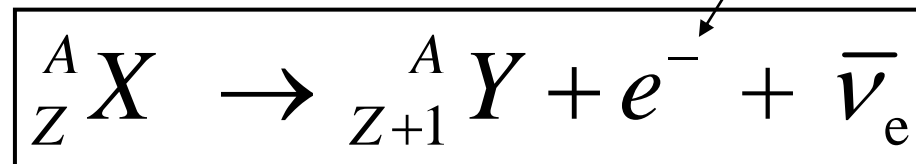


En el momento de editar este mapa no se dispone de información suficiente de las islas Canarias occidentales ni de las ciudades autónomas de Ceuta y Melilla, que serán incluidas en la próxima actualización.

b.1) Radioactivitat β^-

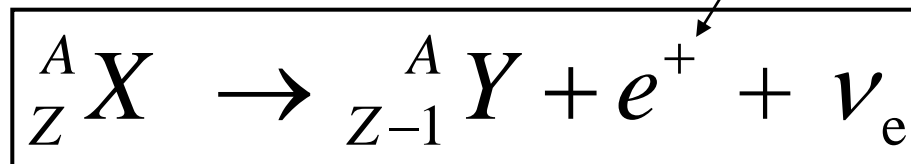
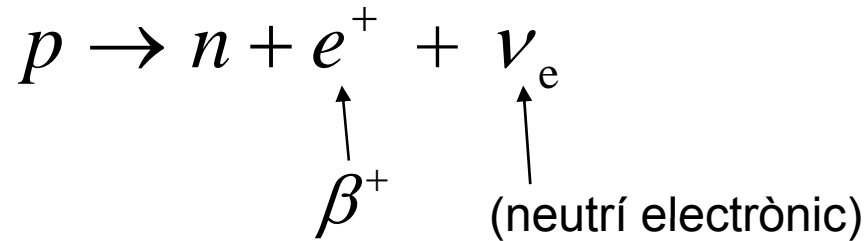
- Les partícules β^- són electrons
- Massa = $m_e = 9,108 \cdot 10^{-31}$ kg = 511 keV
- Càrrega (electró) = $-|e| = -1,602 \cdot 10^{-19}$ C
- Són produïdes a causa de la conversió d'un neutró a un protó $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$

(antineutrí electrònic)



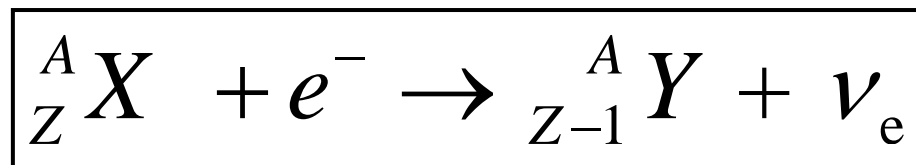
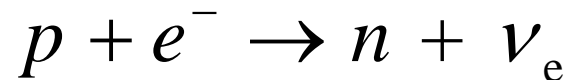
b.2) Radioactivitat β^+

- Les partícules β^+ són positrons (antielectrons)
- Massa = $m_e = 9,108 \cdot 10^{-31}$ kg = 511 keV
- Càrrega (positró) = $+|e| = +1,602 \cdot 10^{-19}$ C
- Són produïdes a causa de la conversió d'un protó a un neutró



b.3) Captura electrònica

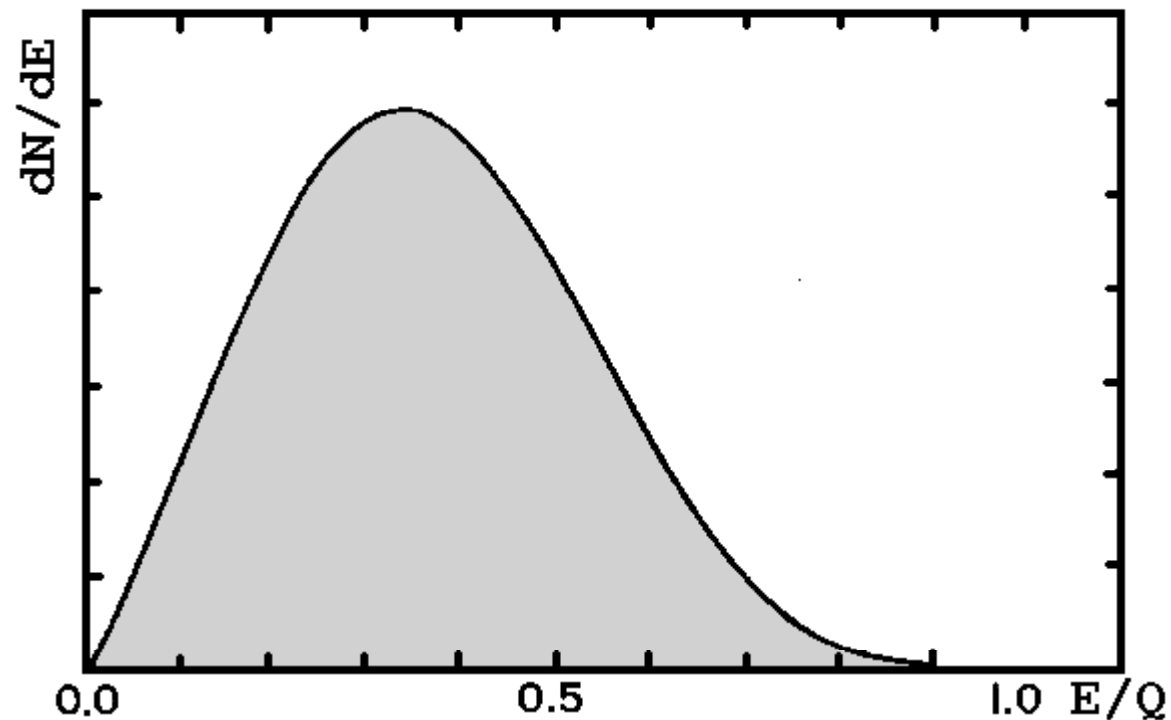
- Procés pel que un nucli captura un electró d'una de les capes més internes de l'àtom per tal de convertir un protó en un neutró.



- L'àtom que experimenta el procés de captura electrònica queda ionitzat. L'electró absorbit pel nucli deixa una vacant que ocupa un electró d'una capa més externa, produint raigs X característics (de freqüència corresponent a la diferència energètica dels nivells, $\Delta E = h \cdot f$)

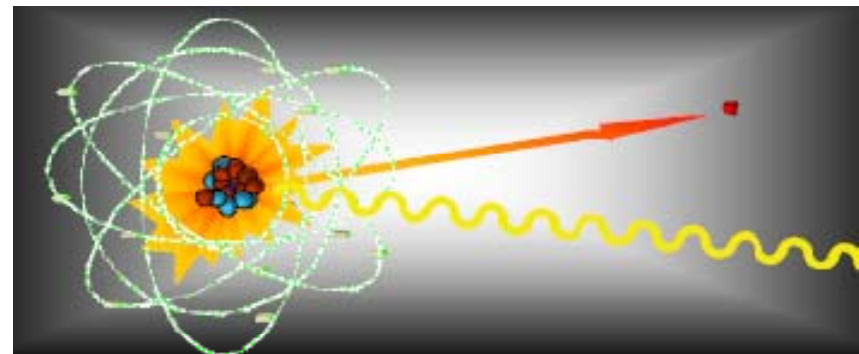
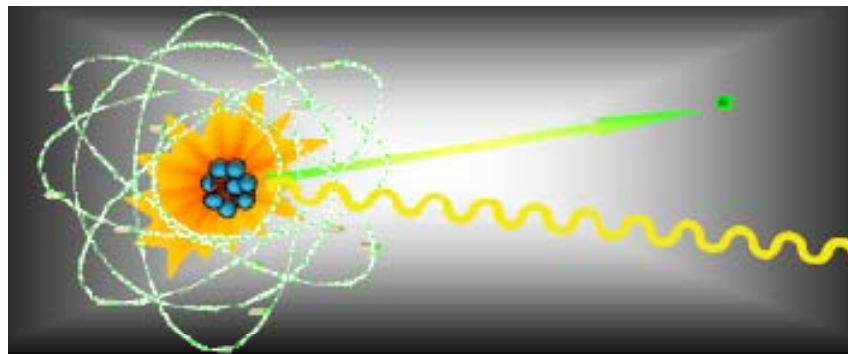
b) Partícules β

L'energia Q alliberada en un procés d'emissió β es reparteix entre l'electró/positró i l'antineutrí/neutrí (de forma desigual) produint un espectre energètic d'emissió de les partícules β continu.

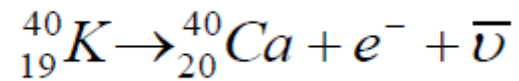


b) Partícules β

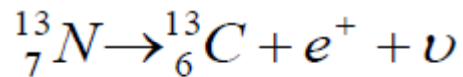
- Més penetrants: una làmina d'alumini o uns metres d'aire les frenen
- Dipositen tota la seva energia en un recorregut més llarg
- Es produeixen en nuclis amb excés de neutrons o de protons
- Solen anar acompanyades d'una desintegració gamma



a) Radioactividad β : Ejemplos



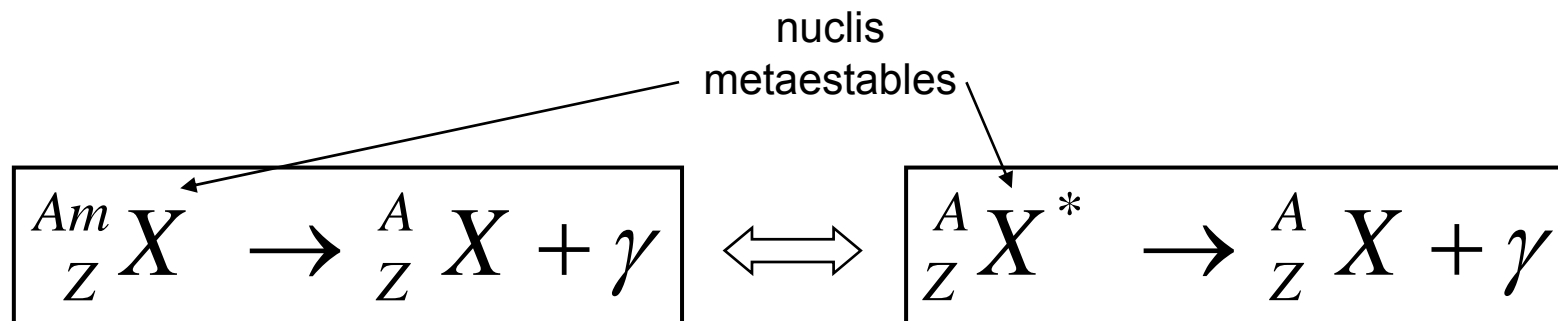
El plátano es rico en potasio. Entre los isótopos de éste está el ${}^{40}\text{K}$, que es radiactivo, emisor β^{-}



El nitrógeno es muy abundante en el suelo, es absorbido por las plantas. Uno de sus isótopos, ${}^{13}\text{N}$ es radiactivo, emisor β^{+} . Las plantas, como la hierba, que puede contener éste elemento, es ingerida por el ganado, y los humanos lo consumimos también (tanto a través de la carne, como de algunas verduras).

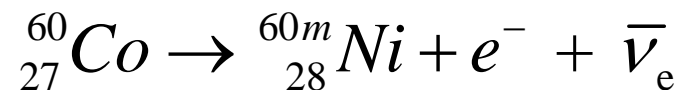
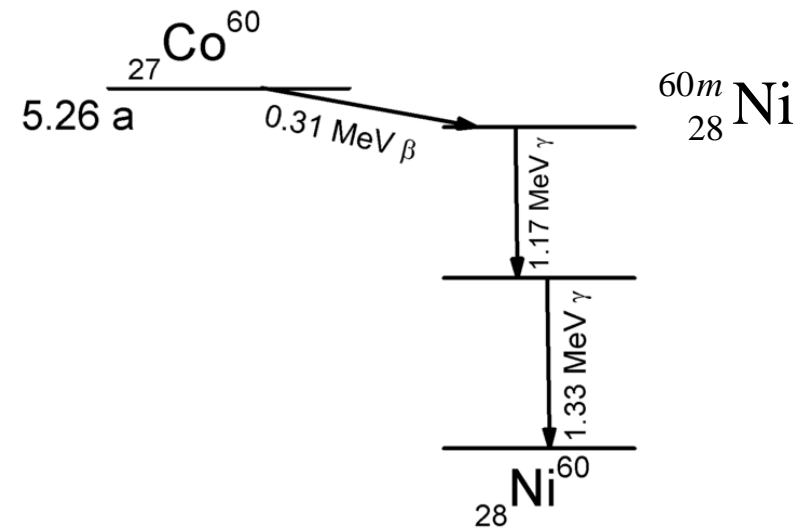
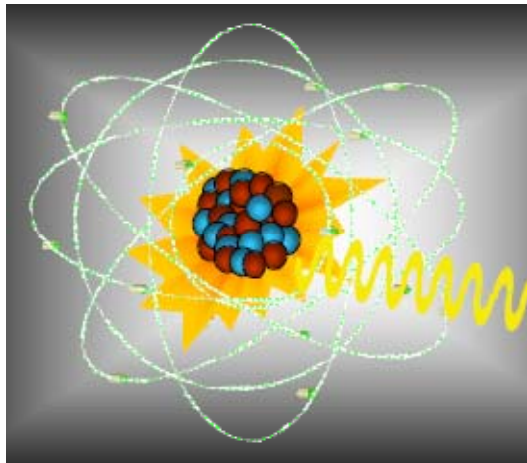
c) Radioactivitat γ

- Les partícules γ són fotons d'origen nuclear (energia electromagnètica)
- Massa = 0 (no tenen massa)
- Càrrega = 0 C (són neutres)

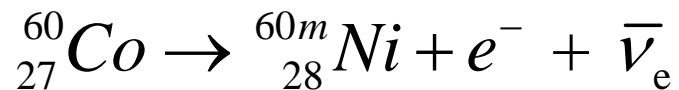
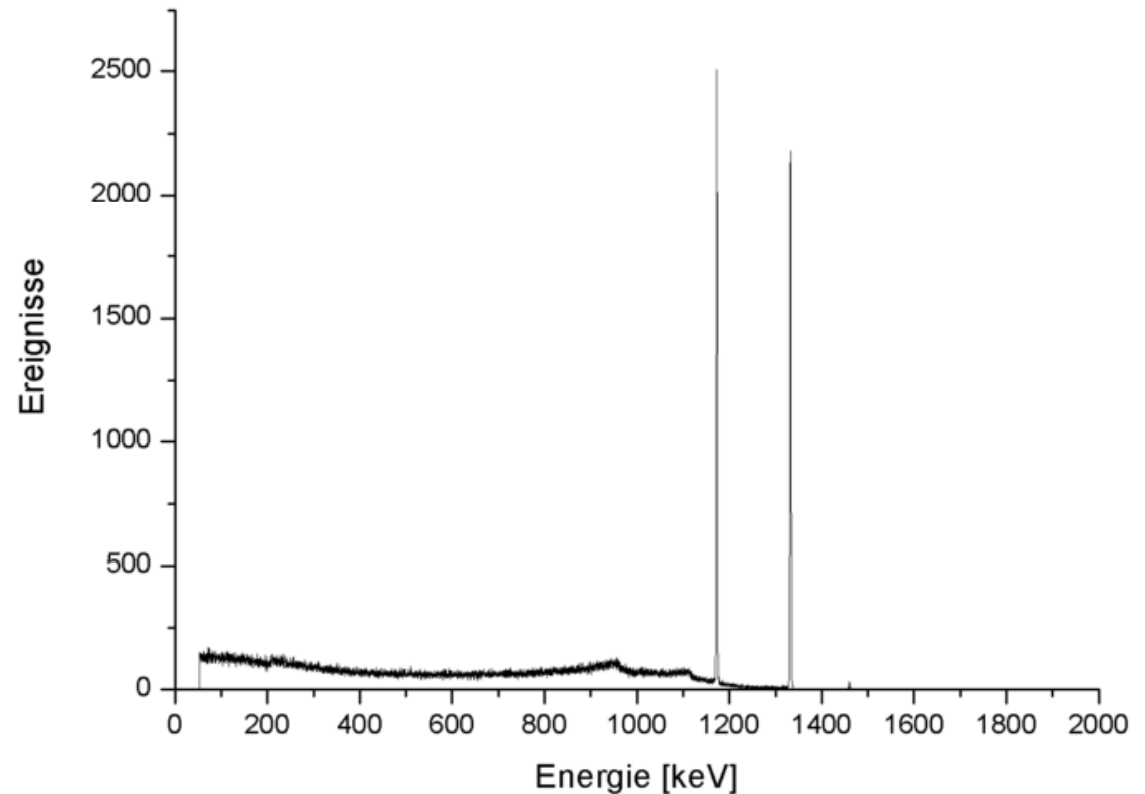
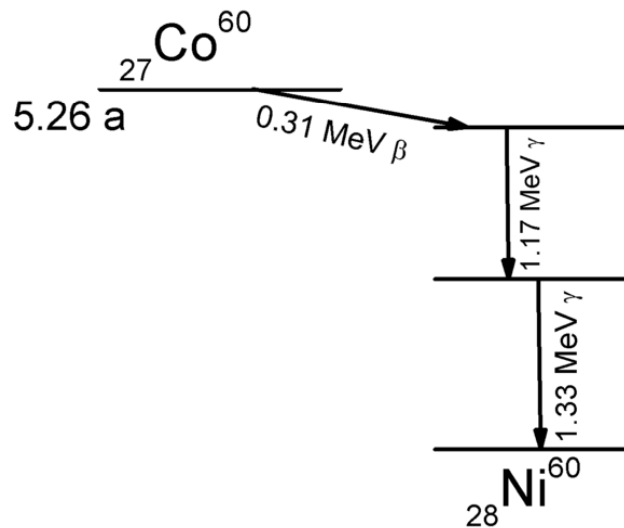


c) Radioactivitat γ

- Es tracta de radiació molt penetrant: requereix materials densos i pesats (plom, formigó, etc.) per a ser absorbida.
- L'emetten nuclis que es troben amb un excés d'energia
- Les energies dels fotons emesos estan ben definides (espectre discret)



c) Radioactivitat γ . Les energies dels fotons emesos estan ben definides (espectre discret)

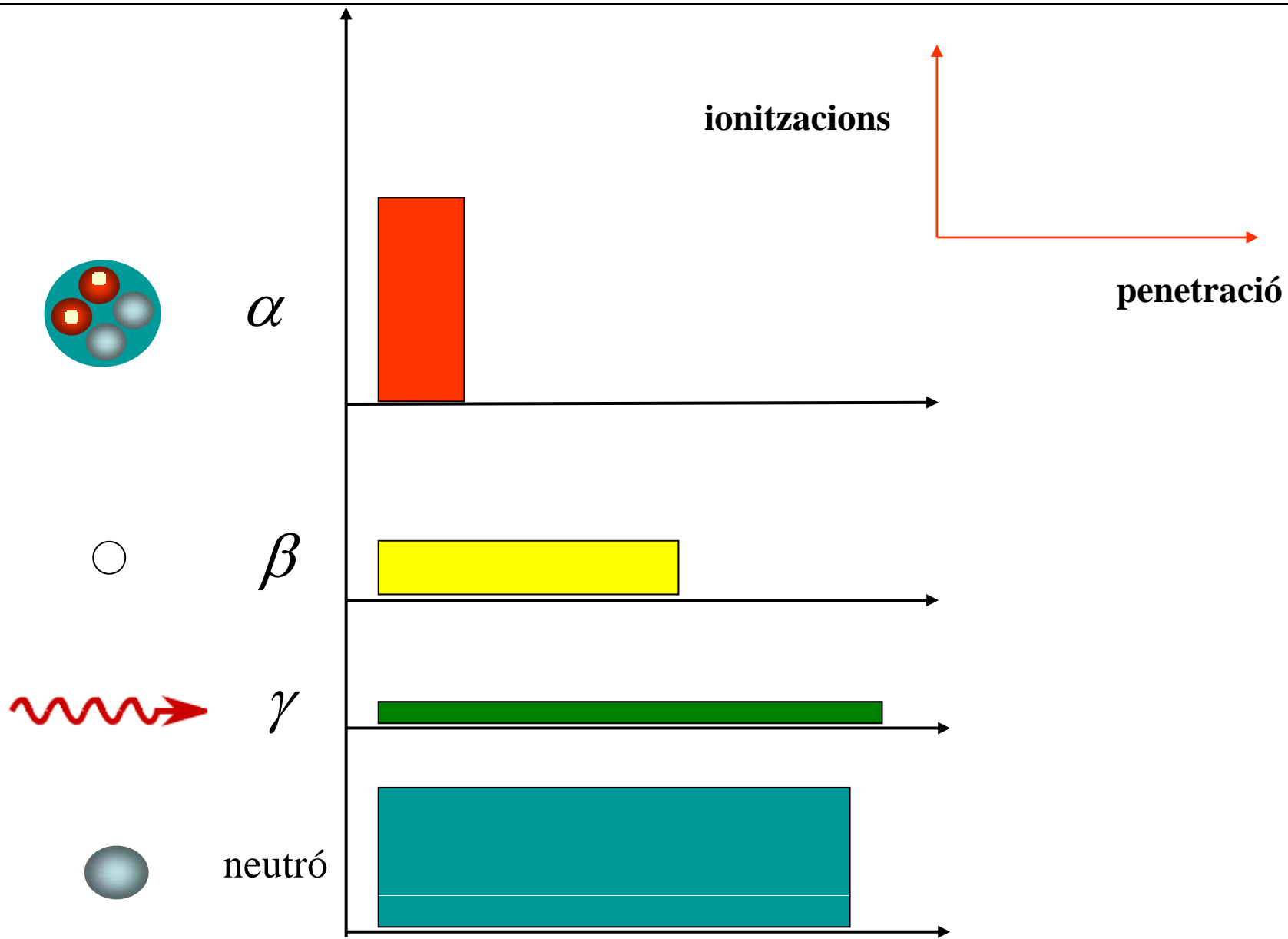




Una de las aplicaciones de la radiación gamma es para irradiar ciertos alimentos. Es una técnica aprobada por la OMS, y que puede prolongar la duración de alimentos frescos perecederos en óptimas condiciones para el consumo.

Se somete el alimento a irradiación gamma, matando los microbios, bacterias y pequeños insectos que pueden provocar la putrefacción.

Los rayos gamma pueden atravesar fácilmente el envoltorio del productos.



El neutrino ν es una partícula subatómica, sin carga y con una masa muy pequeña (aún no ha podido ser medida exactamente, es próxima a 0). Como son tan ligeros pueden recorrer grandes distancias (incluso años-luz) hasta que son reabsorbidos.

Los neutrinos son muy abundantes en el universo: Hay 700 millones de neutrinos por cada protón. Se produjeron masivamente en el Big Bang y se siguen produciendo de manera artificial en estrellas, supernovas y en la desintegración de ciertos elementos radiactivos.

Su existencia fue predicha de manera teórica en 1930 por Pauli, para que en las desintegraciones β se conservara la energía, el momento y el espín. No se observó experimentalmente hasta 1956.

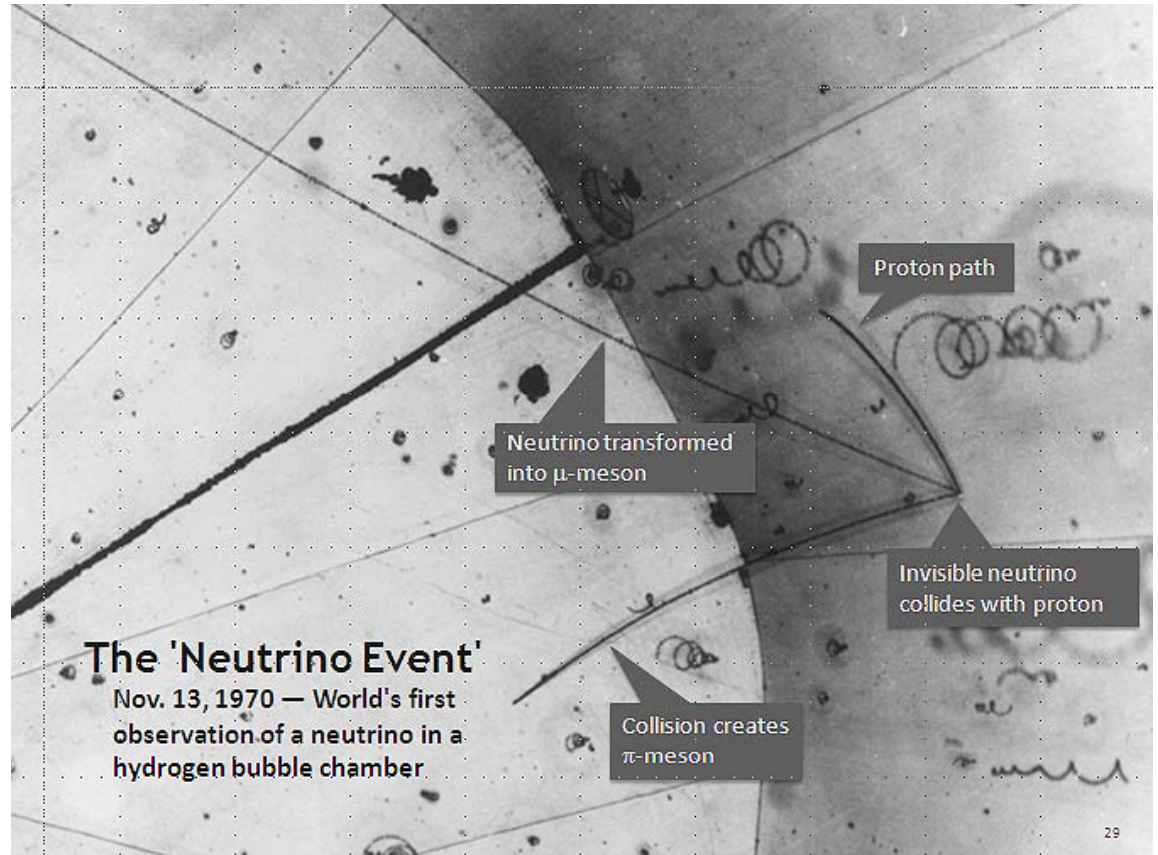
Hay tres tipos de neutrinos (con sus correspondientes antineutrinos): electrónicos (son los que aparecen en las desintegraciones α y β), muónicos y tau.

Cada vez que se fusionan átomos (como en las estrellas, ej: Sol, millones de neutrinos atraviesan nuestro cuerpo cada día sin que lo notemos) o se fisiónan átomos (como en un reactor nuclear), se producen neutrinos.

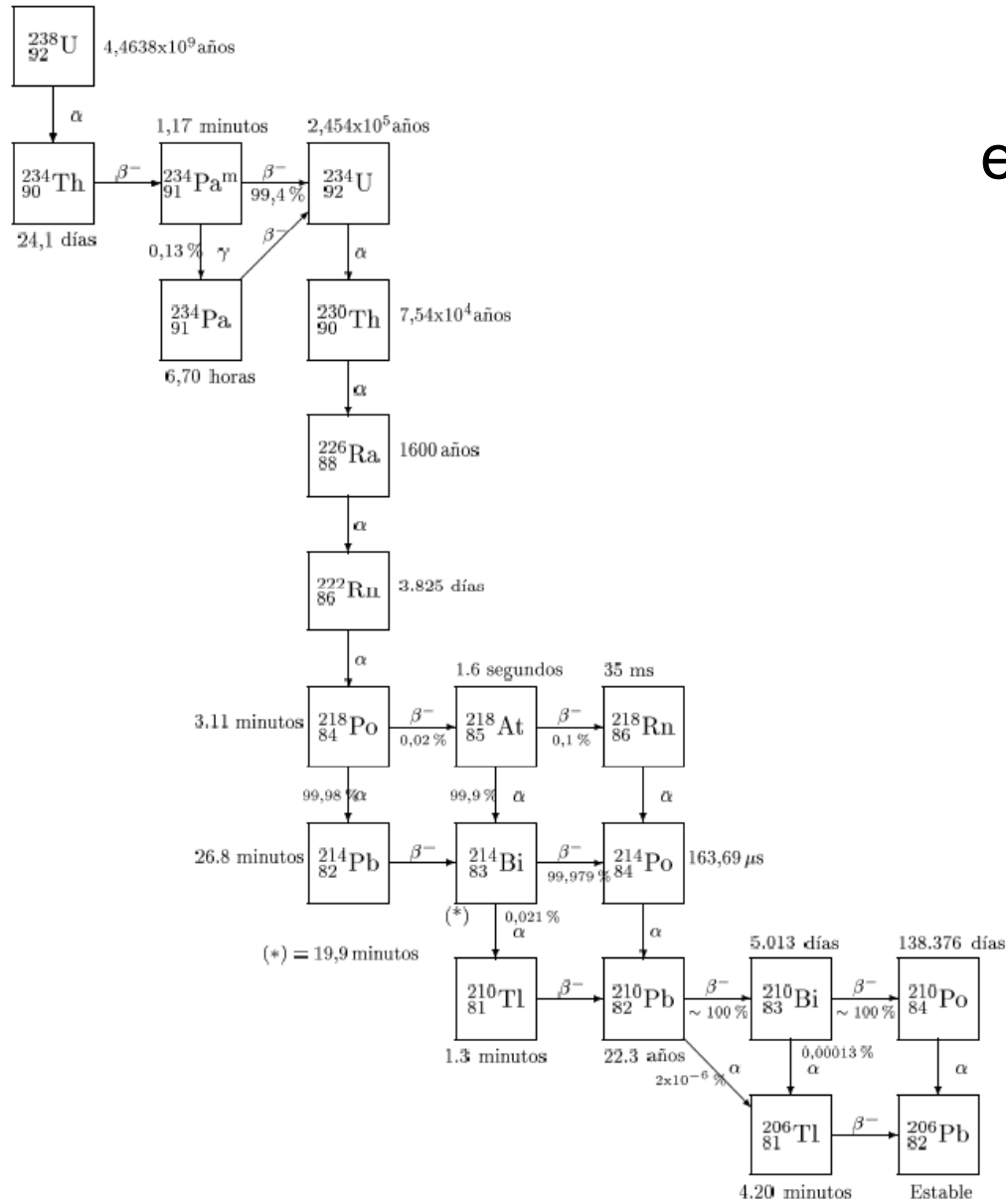
Incluso un simple plátano emite neutrinos: los plátanos contienen un isótopo radiactivo del potasio ^{40}K (también presente en el cuerpo humano)

Son difíciles de detectar, para ello se utilizan dispositivos llamados cámaras de burbujas, que contienen hidrógeno subenfriado. Los neutrinos interactúan con los protones y aparecen “trazas” que delatan su presencia.

<http://www.cienciakanija.com/2007/10/18/%C2%BFque-es-un-neutrino/>



- L'isòtop resultant d'una desintegració radioactiva no és necessàriament estable. Això, provoca successives desintegracions. Aquests processos es diuen cadenes radiatives.
- A la Terra, es coneixen 4 cadenes/sèries radioactives:
 - Sèrie del Th-232
 - Sèrie del Np-237 → explosions nuclears
 - Sèrie de l'U-238
 - Sèrie de l'U-235 (actinis)



exemple: Sèrie de l'U-238

Ciertos átomos que tienen un exceso de protones o neutrones, son inestables. En el proceso de desintegración, el núcleo inestable, se transforma en otro isótopo del mismo elemento o en otro elemento químico, más estable. Este proceso, se llama decaimiento radiactivo.

La radiactividad es un fenómeno aleatorio y la probabilidad de que un núcleo cualquiera de la muestra radiactiva se desintegre en cierto instante es independiente de cualquier influencia externa.

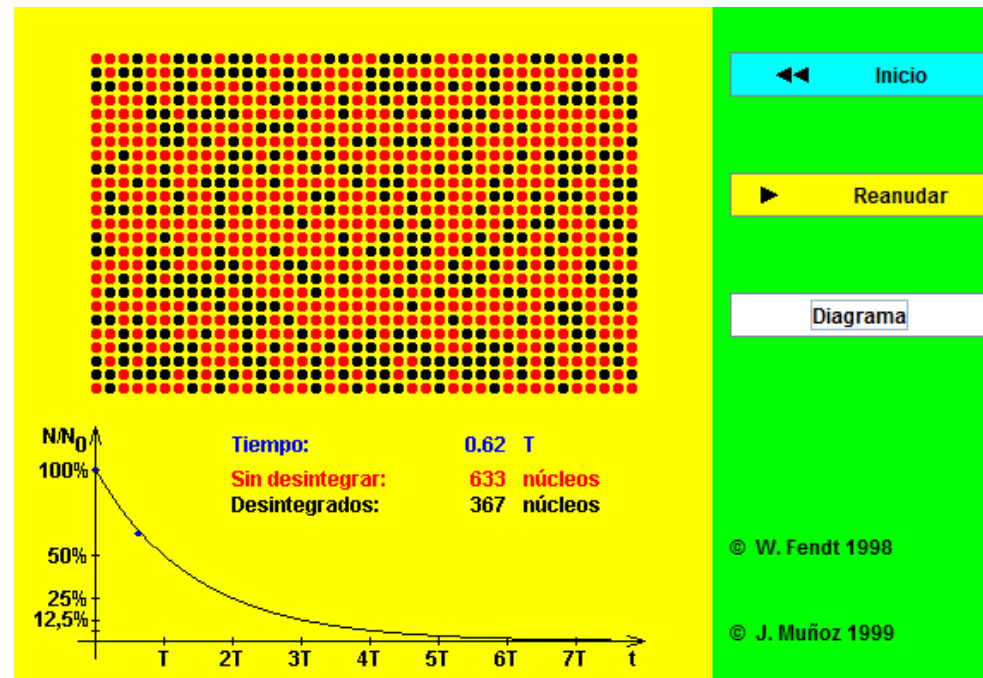
Para una sustancia radiactiva determinada, todos sus núcleos tienen la misma probabilidad de desintegración. A esta probabilidad, por unidad de tiempo (s) la llamamos λ (constante de desintegración)

En 1900, Rutherford anuncià que el ritme con que una sustancia radioactiva emite partícules, disminuía exponencialment con el tiempo.

En una muestra de material radioactivo, compuesta por muchos átomos, la desintegración de un núcleo cualquiera se produce al azar.

La probabilidad de que un núcleo de una muestra radioactiva se desintegre por unidad de tiempo es la *constante de desintegración* λ .

http://www.walter-fendt.de/ph14s/lawdecay_s.htm



- Constant de desintegració λ :
 λ : Probabilitat que un nucli es desintegri en un segon
- Probabilitat que un nucli es desintegri en un interval dt : $P(dt) = \lambda \cdot dt$
- Si tenim N nuclis radioactius, s'aniran desintegrant. La variació dN de nuclis serà:

$$dN = -N \cdot P(dt) = -N \cdot \lambda \cdot dt$$

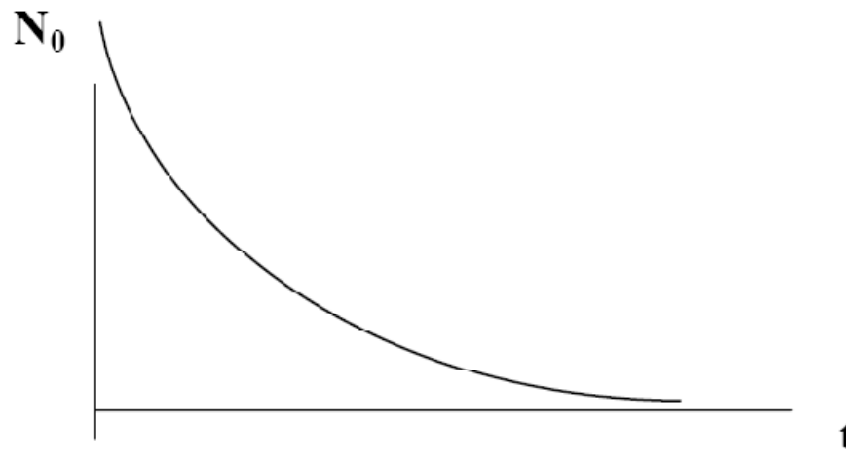
Signe negatiu: quan augmenta dt , dN disminueix

- Per tant:
$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

- Considerant que $N(t=0)=N_0$: N_0 : Número de núcleos radioactius en la mostra en el instant inicial.

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

Llei de desintegració radioactiva



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

<http://lectureonline.cl.msu.edu/~mmp/applist/decay/decay.htm>

- Constant de desintegració λ :

$$[\lambda] = \text{T}^{-1} \quad \lambda \text{ té unitats d'invers de temps}$$

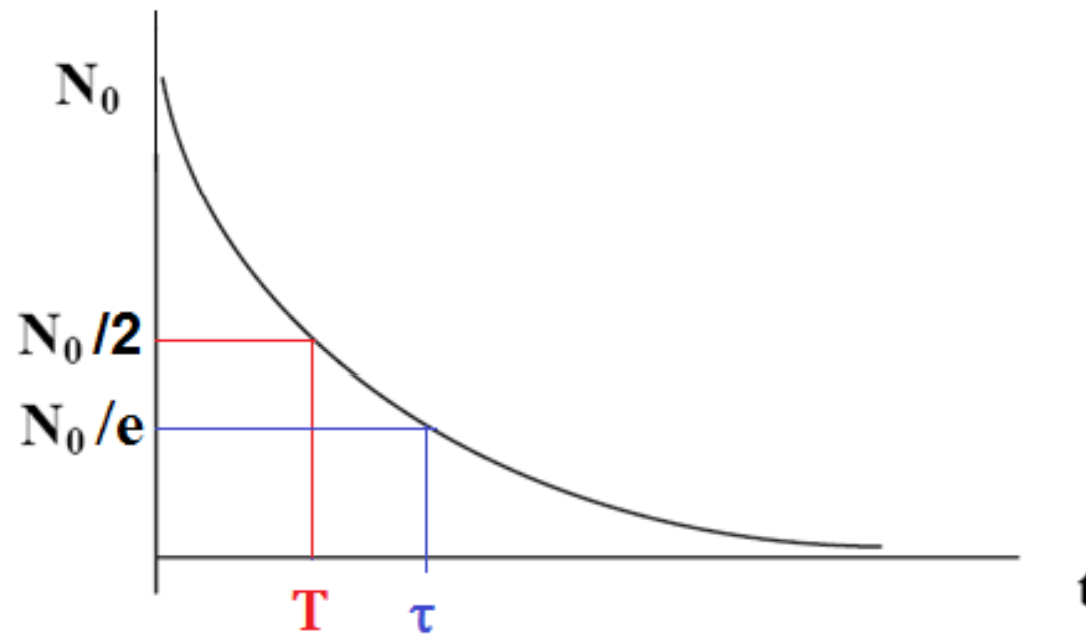
- Temps de vida mitja τ :

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad [\tau] = \text{T} \quad \tau \text{ té unitats de temps, indica el valor mig de la vida d'un àtom radioactiu} \quad N(t = \tau) = \frac{N_0}{e}$$

- Període de semidesintegració T :

T és el temps necessari perquè una mostra radioactiva tingui la meitat d'àtoms radioactius ($N_0/2$) que tenia a $t=0$

$$N(t = T) = \frac{N_0}{2} \quad \Rightarrow \quad \frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T} \quad \Rightarrow \quad T = \frac{\ln 2}{\lambda} \approx \frac{0,693}{\lambda}$$



$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} \approx \frac{0,693}{\lambda}$$

T : Período de semidesintegración o semivida. Tiempo que tarda el número de núcleos radiactivos de la muestra en reducirse a la mitad ($N_0/2$).

$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$

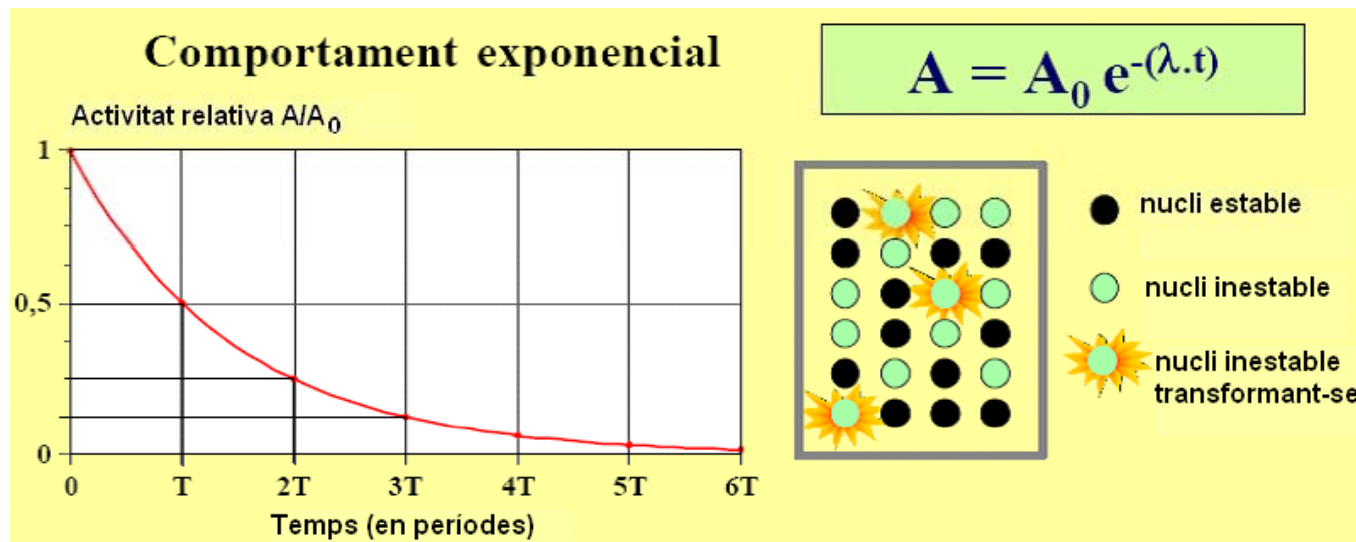
τ : Vida media. Tiempo que tarda el número de núcleos radiactivos de la muestra en reducirse a $N_0/e \approx 0.368 N_0$.

- **Activitat:** velocitat de desintegració d'una mostra (variació del nombre d'elements radioactius per unitat de temps en valor absolut)

$$A(t) = \left| \frac{dN(t)}{dt} \right| = \lambda N(t) \quad [A(t)] = T^{-1} \text{ (# desintegracions/s)}$$

$$A(t) = \lambda N(t) = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t} \implies A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$$

$$A(t=0) = A_0 = \lambda N_0$$



Unitats d'activitat:

- Sistema internacional (SI):

$$1 \text{ becquerel} = 1 \text{ Bq} = 1 \text{ desintegració/s}$$

$$1 \text{ kBq} = 10^3 \text{ Bq}$$

$$1 \text{ MBq} = 10^6 \text{ Bq}$$

$$1 \text{ GBq} = 10^9 \text{ Bq}$$

$$1 \text{ TBq} = 10^{12} \text{ Bq}$$

- Altres unitats:

$$1 \text{ curie} = 1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq} \quad (\text{Activitat d'1g de } ^{226}\text{Ra})$$

$$1 \text{ mCi} = 10^{-3} \text{ Ci}$$

$$1 \mu\text{Ci} = 10^{-6} \text{ Ci}$$

$$1 \text{ nCi} = 10^{-9} \text{ Ci}$$

$$1 \text{ pCi} = 10^{-12} \text{ Ci}$$

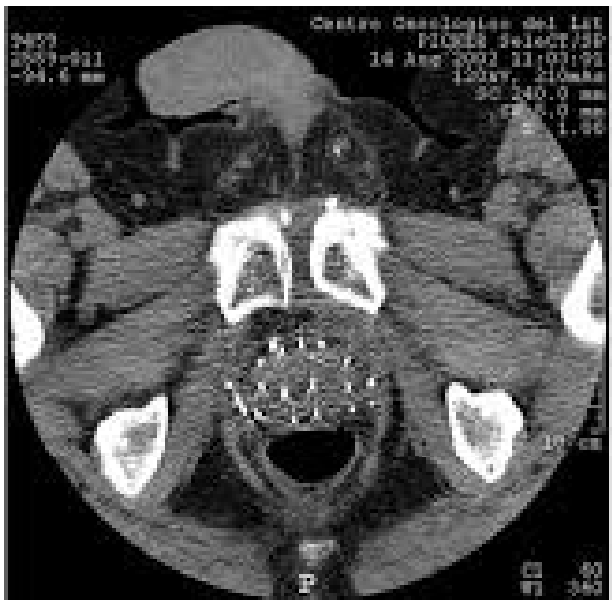
Radioterapia: Cobalto-60



Braquiterapia: Tratamiento de radioterapia “interna”. Se introducen en el paciente semillas radiactivas para que al emitir radiación, destruyan las células tumorales. Es un tratamiento muy localizado. Se calcula la dosis que se quiere dar al paciente previamente y la distribución de las semillas, para que la energía se deposite en las zonas que se quieren tratar.

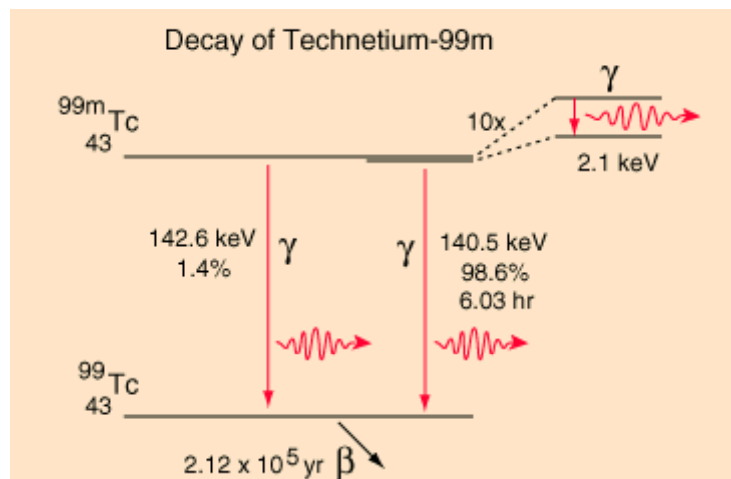
Cuando se alcanza la dosis prescrita, las semillas se extraen y ya no continúan irradiando al paciente.

Suele utilizarse en tratamiento de cáncer de próstata, o en algunos cánceres de piel.

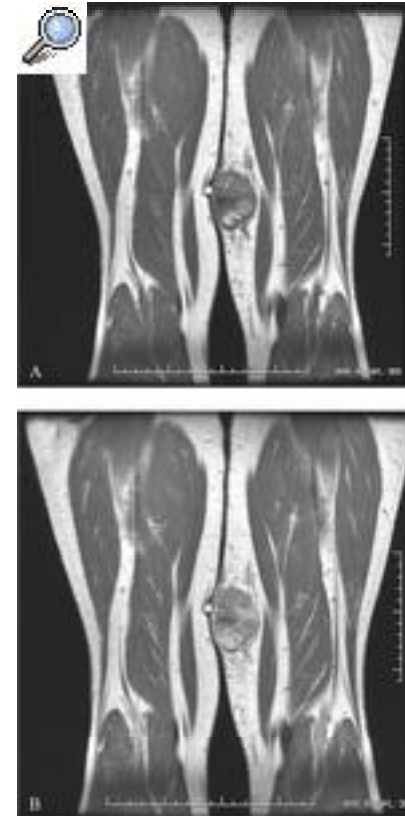
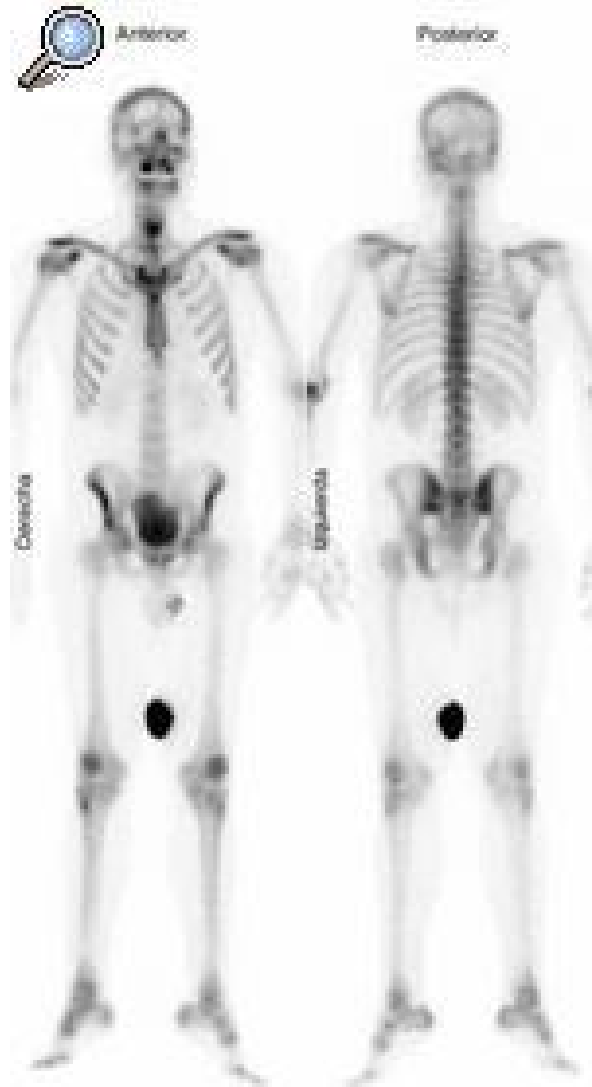


Gammagrafía ósea: Es una prueba de *medicina nuclear*. Se inyecta al paciente un radioisótopo, normalmente tecnecio (^{99m}Tc), que tiende a fijarse en el hueso. El ^{99m}Tc tiene un periodo de semidesintegración de unas 6 horas. Por ello se esperan entre 3-4h desde que se inyecta al paciente, hasta que se hace el estudio de imagen. Pasado este tiempo, se coloca al paciente en una sala con un equipo llamado gammacámara que detecta los rayos- γ que emiten los átomos de tecnecio que es están desintegrando. Algunos tumores óseos provocan metástasis en órganos distantes como pulmón, pudiendo detectarse acumulaciones óseas en zonas donde no deberían estar.

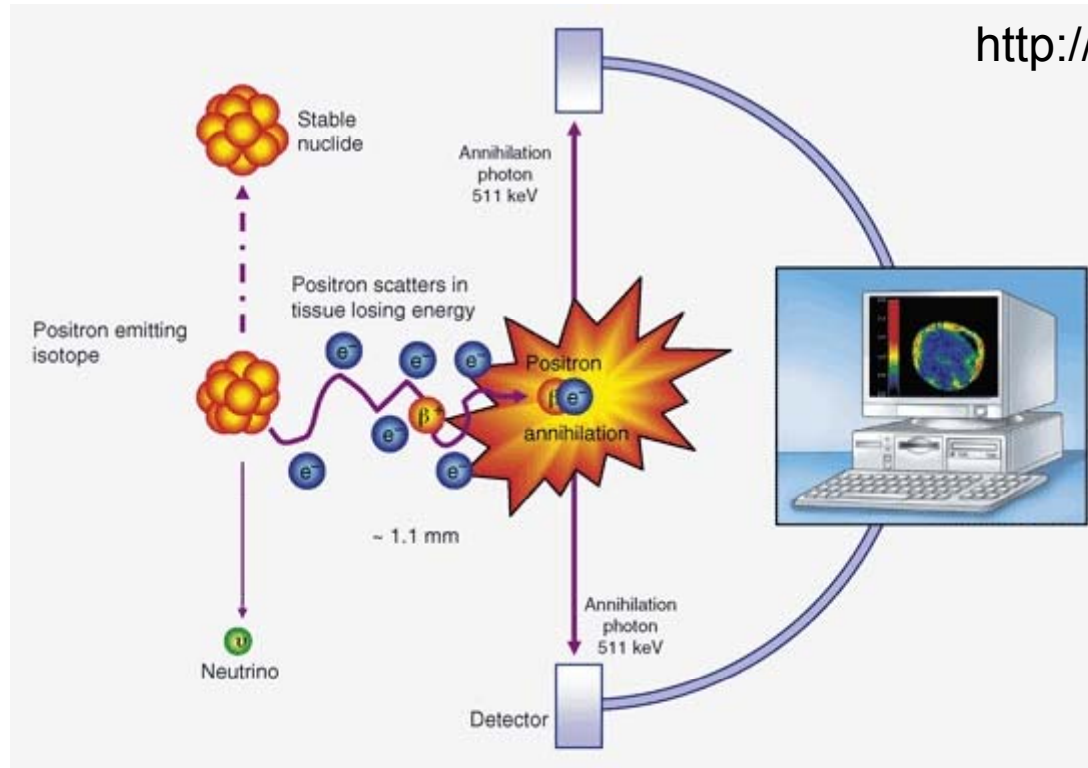
El rastreo con la gammacámara suele durar 1 hora, y los detectores pueden moverse en ocasiones en torno al paciente, a veces éste ha de cambiar de posición durante el examen.



Osteosarcoma extraóseo detectado por gammagrafía tras inyectar Tc-99



PET (Tomografía por emisión de positrones):

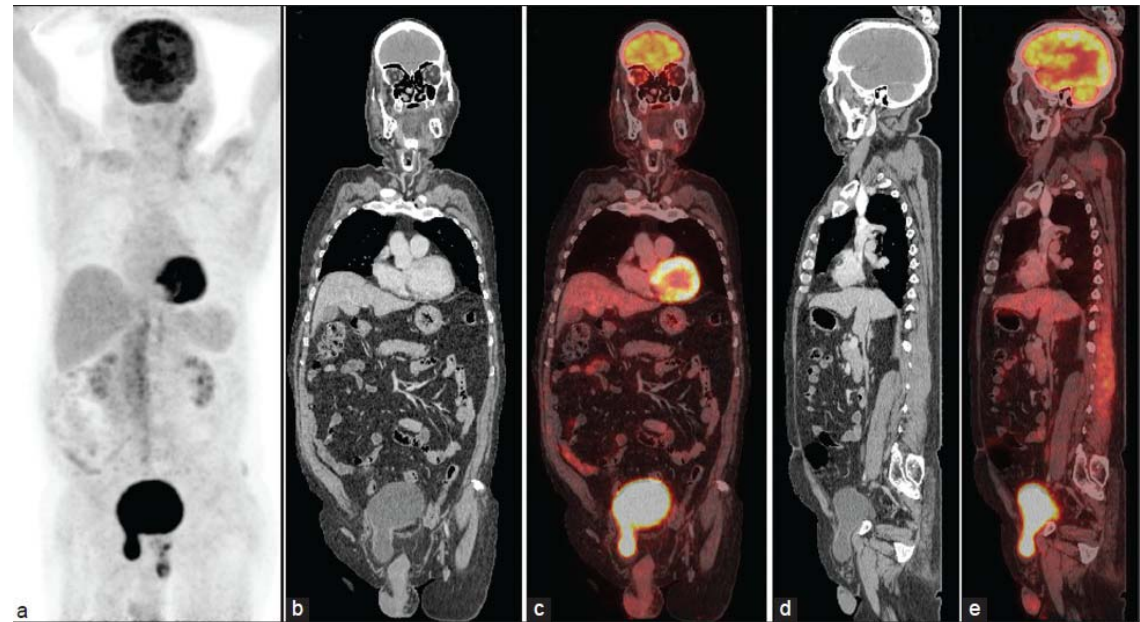
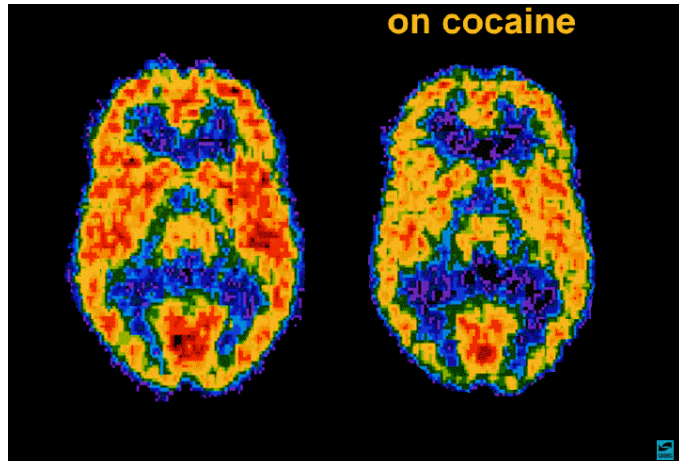


<http://www.oakwood.org/pet-scan-ct-scan>



Se usan distintos trazadores emisores de positrones que se suministran al paciente para comprobar actividad metabólica, riego sanguíneo, posibles lesiones cancerígenas... Por ejemplo, la 18-FDG (fluoro desoxiglucosa)

PET (Tomografía por emisión de positrones):



PET

TC

Fusión
imágenes
de PET y
TC

TC

Fusión
imágenes
de PET y
TC

Considerem una mostra de tecneci-99, el qual té un període de semidesintegració de 6 hores, que originalment conté 10^{20} nuclis radioactius de tecneci-99.

Calculem quants nuclis de tecneci- 99 queden després de 2 dies i quan val l'activitat de la mostra en aquest instant:

Ens cal conèixer la constant de desintegració λ , que valdrà:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} = \frac{0,693}{6h} = 0,1155h^{-1}$$

Tenint en compte que $N_0 = 10^{20}$, el nombre de nuclis al cap de dos dies es pot calcular mitjançant la llei de desintegració radioactiva:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow N(t = 48 h) = 10^{20} \text{ nuclis } e^{-0,1155 /h \times 48 h} = 3,9 \cdot 10^{17} \text{ nuclis}$$

L'activitat serà:

$$A(t) = \lambda N(t) \Rightarrow A(48h) = 0,1155h^{-1} \cdot 3,9 \cdot 10^{17} = 4,50 \cdot 10^{16} \text{ desintegracions/h} = 1,25 \cdot 10^{13} Bq$$