Curso de capacitación 2020

Aplicaciones

Rodolfo M. Id Betan (Rolo)
idbetan@ifir-conicet.gov.ar
Edificio Ifir, Of. 235 (Esmeralda y Ocampo)
Tel. 4853200 Int. 486

Contenido Módulo 2:

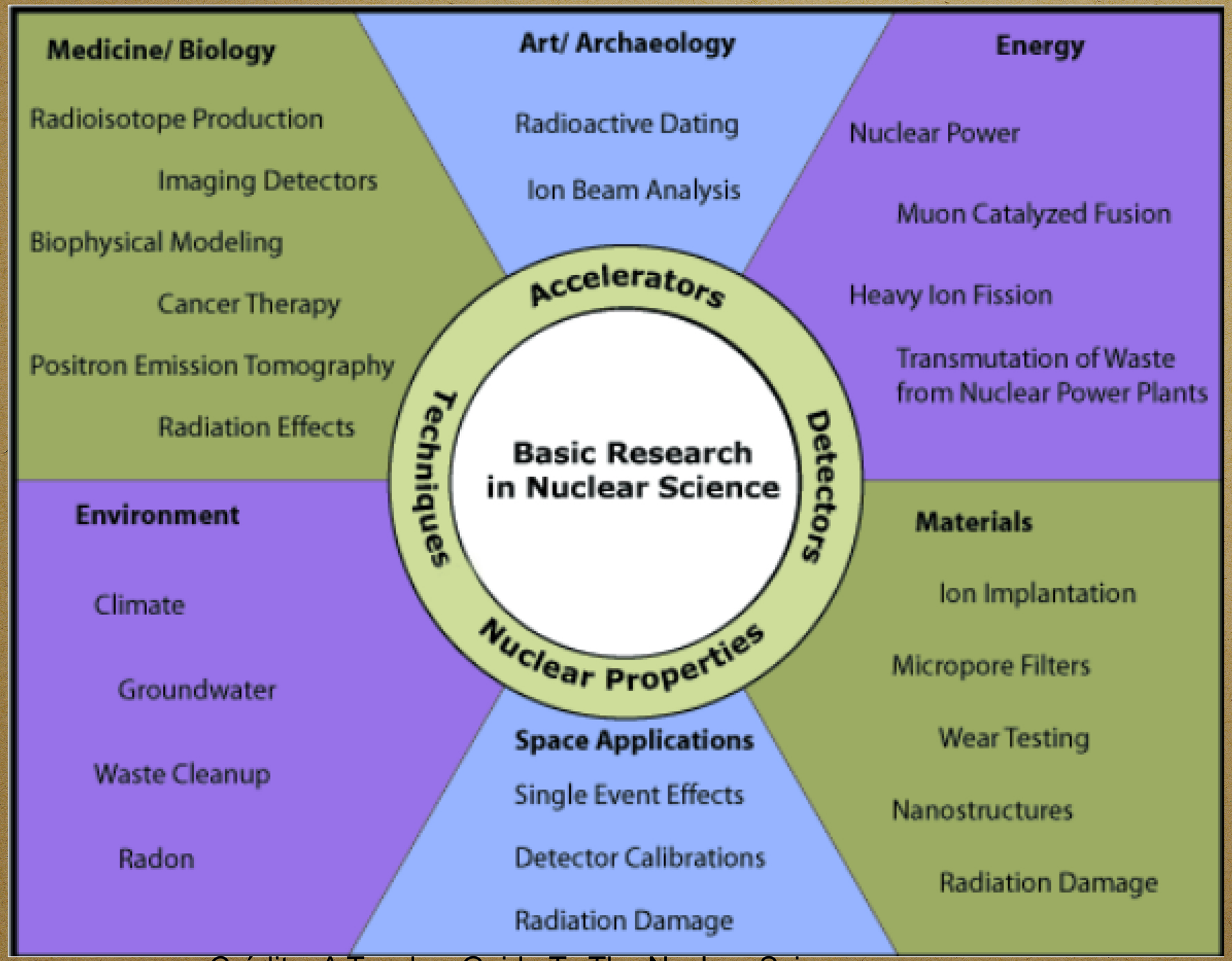
Preguntas que se hace la Física Nuclear. Sobre la Tecnología Nuclear. Generalidades de los núcleos atómicos. Estado actual de los límites de la Tabla Periódica. Límite de existencia de los núcleos atómicos. Sobre las aplicaciones de los radioisótopos Tecnecio y Boro. Principio de funcionamiento del resonador magnético nuclear.

Lecturas recomendadas:

- Nuclear Physics: Exploring the Heart of Matter. The National Academies Press (2013).
- NuPecc Long Range Plan 2017. Perspectives in Nuclear Physics. European Science Foundation (2017).

Aplicaciones de la Física Nuclear

Tecnología Nuclear



Crédito: A Teacher Guide To The Nuclear Science

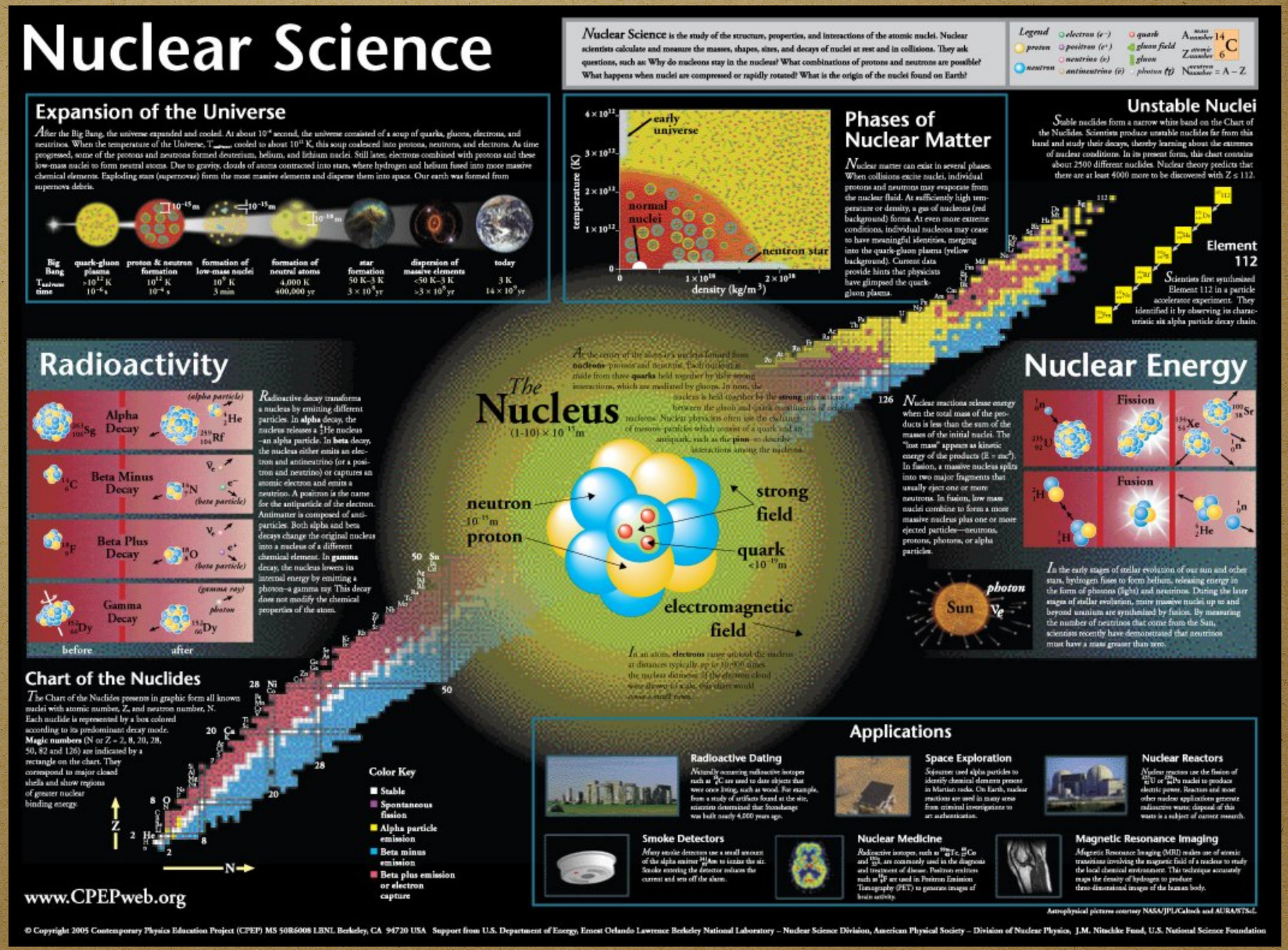
Aplicaciones de los radionucleidos

Aplicaciones de radionucleidos

- Producción de energía: 435 plantas nucleares en el mundo (17%), 3 en Argentina (7%).
- Entender el origen y la evolución del Universo.
- Datación de materia orgánica con núcleos de carbono 14 ($T_{1/2} = 5730$ años).
- Determinación de rocas/meteoritos (10^9 años). Radiometría por Estroncio
- Detectores de humo (obsoleto).
- Metalurgia: medir espesores o fallas en metales con rayos gamma
- Medicina nuclear para diagnóstico y cura (1/3 de los internados se tratan con medicina nuclear en USA).

Otras aplicaciones

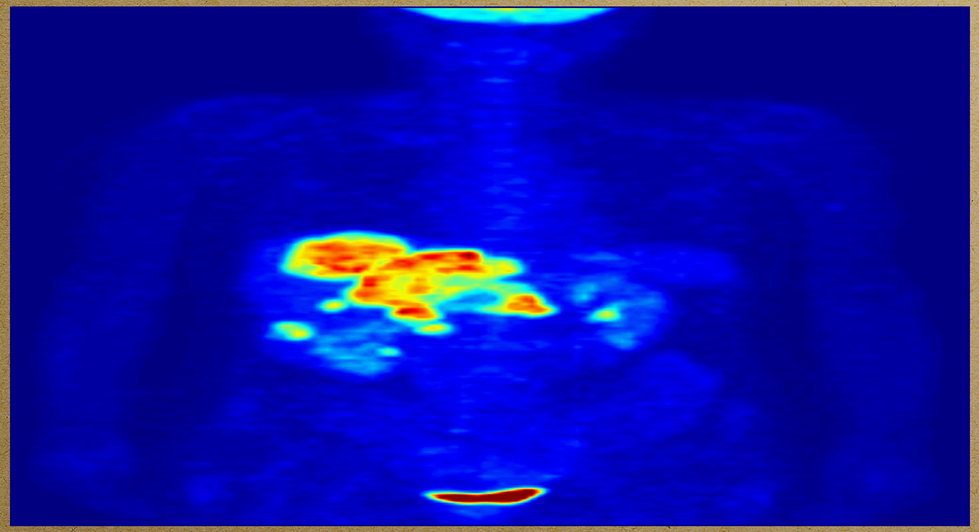
www.CPEPweb.org



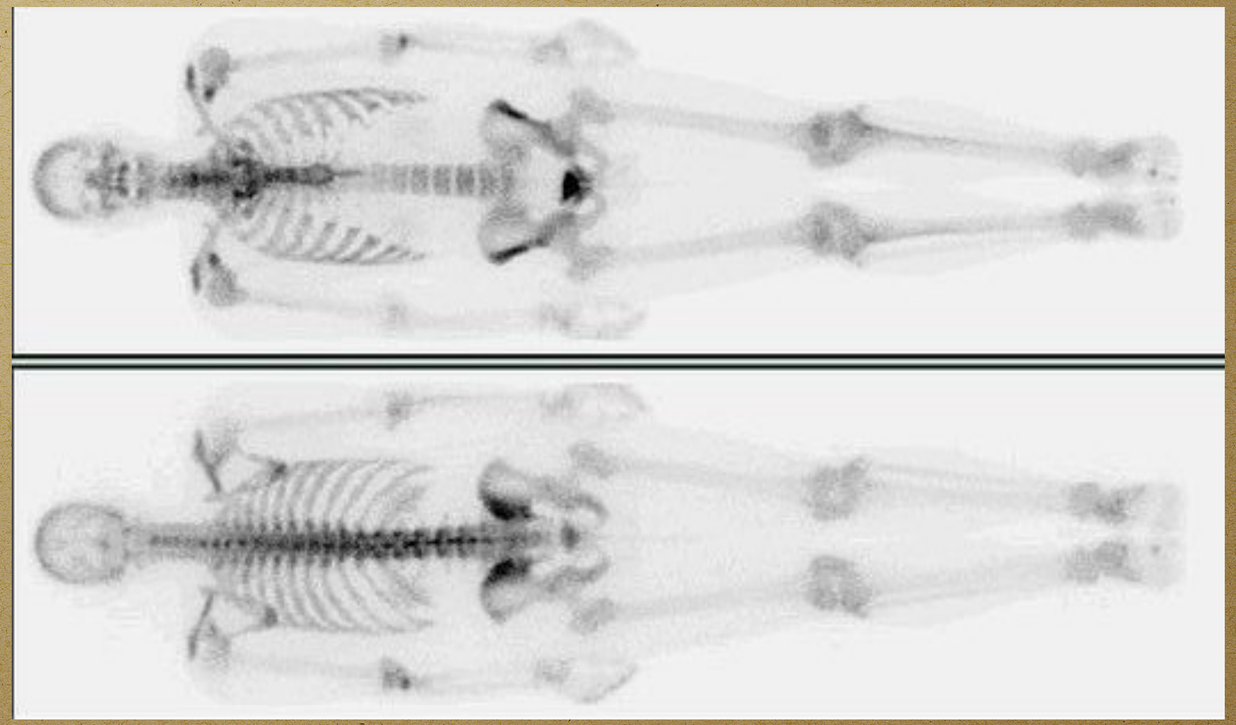
Generalidad sobre aplicación de radionucleidos en medicina

Diagnóstico con núcleos radiactivos

Consiste en generar imágenes de los organismos para estudiar dañaos o funcionamiento incorrectamente.



Toografía de positrones(beta+)



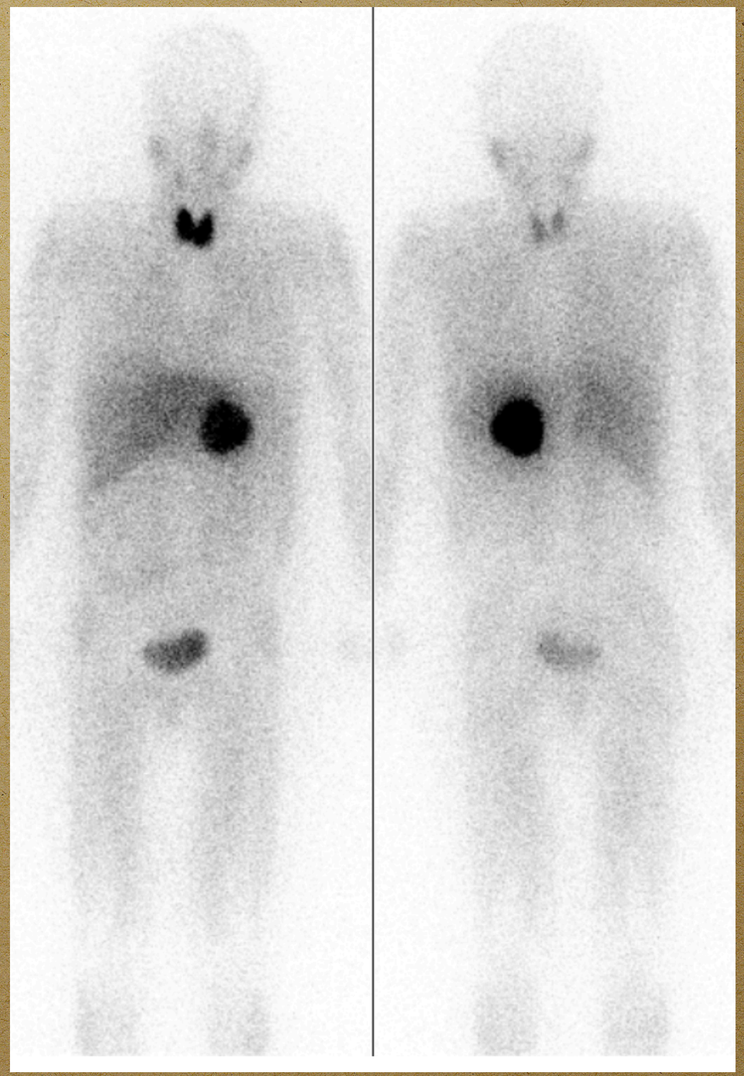
Crédito: wikipedia.org

Se inyecta núcleos radioactivos como agua, oxígeno o azúcar para que se deposite mayormente en el organismo de interés.

Diagnóstico con núcleos radiactivos

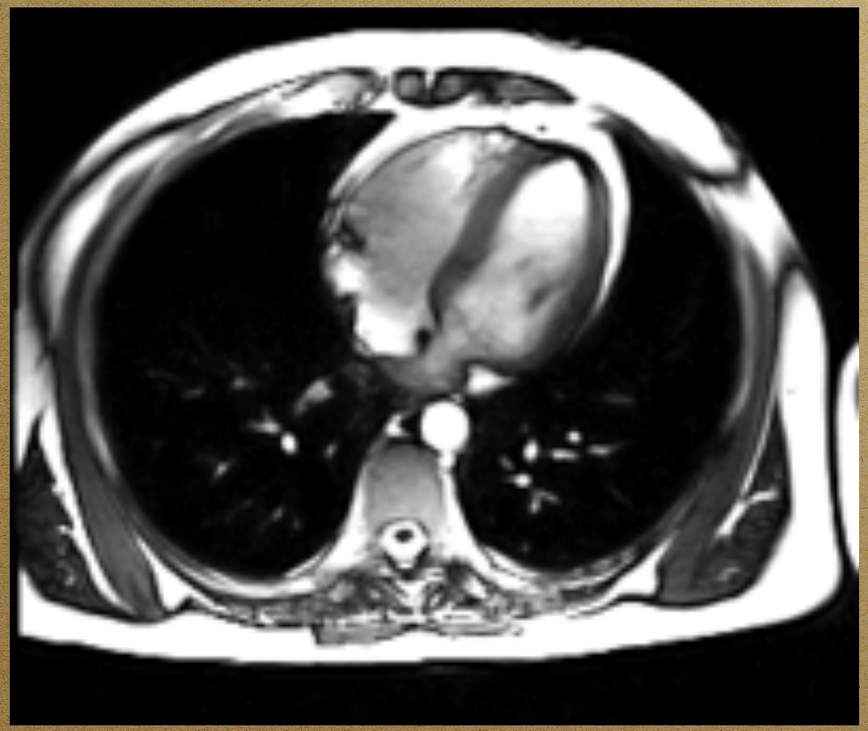
Diagnóstico por Yodo: $^{123}I - ^{125}I$

Crédito: mineralin.com.co

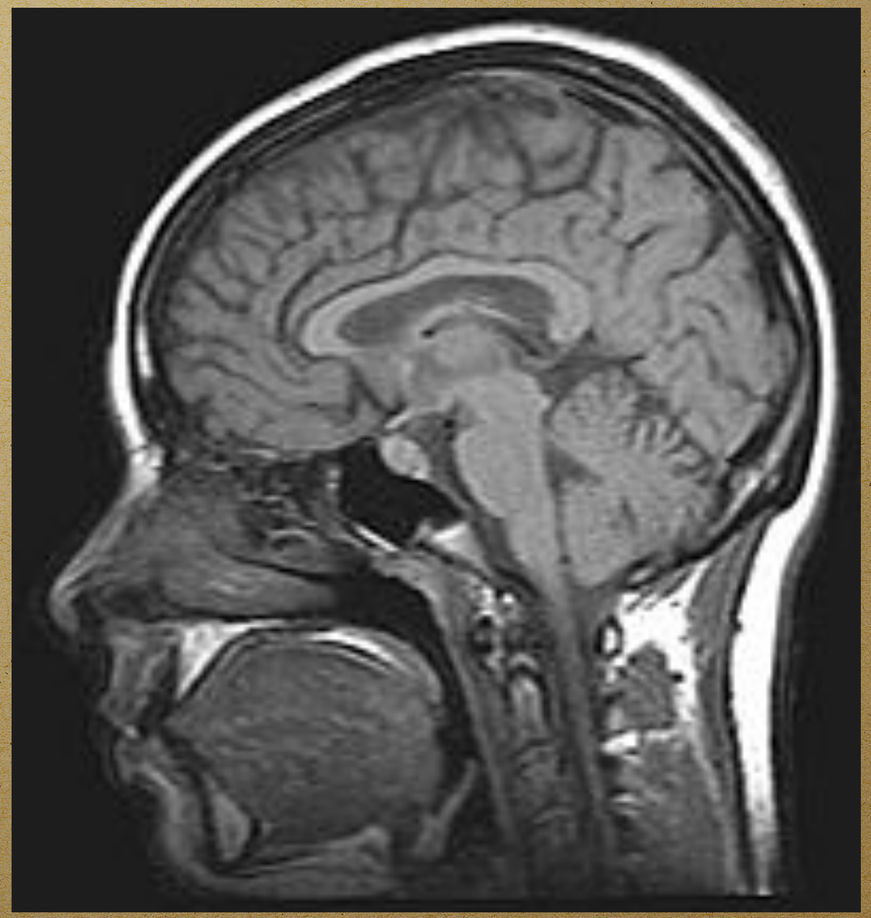


Crédito: wikipedia

Diagnóstico por resonancia nuclear



Corazón



Cerebro

Crédito: wikipedia.org

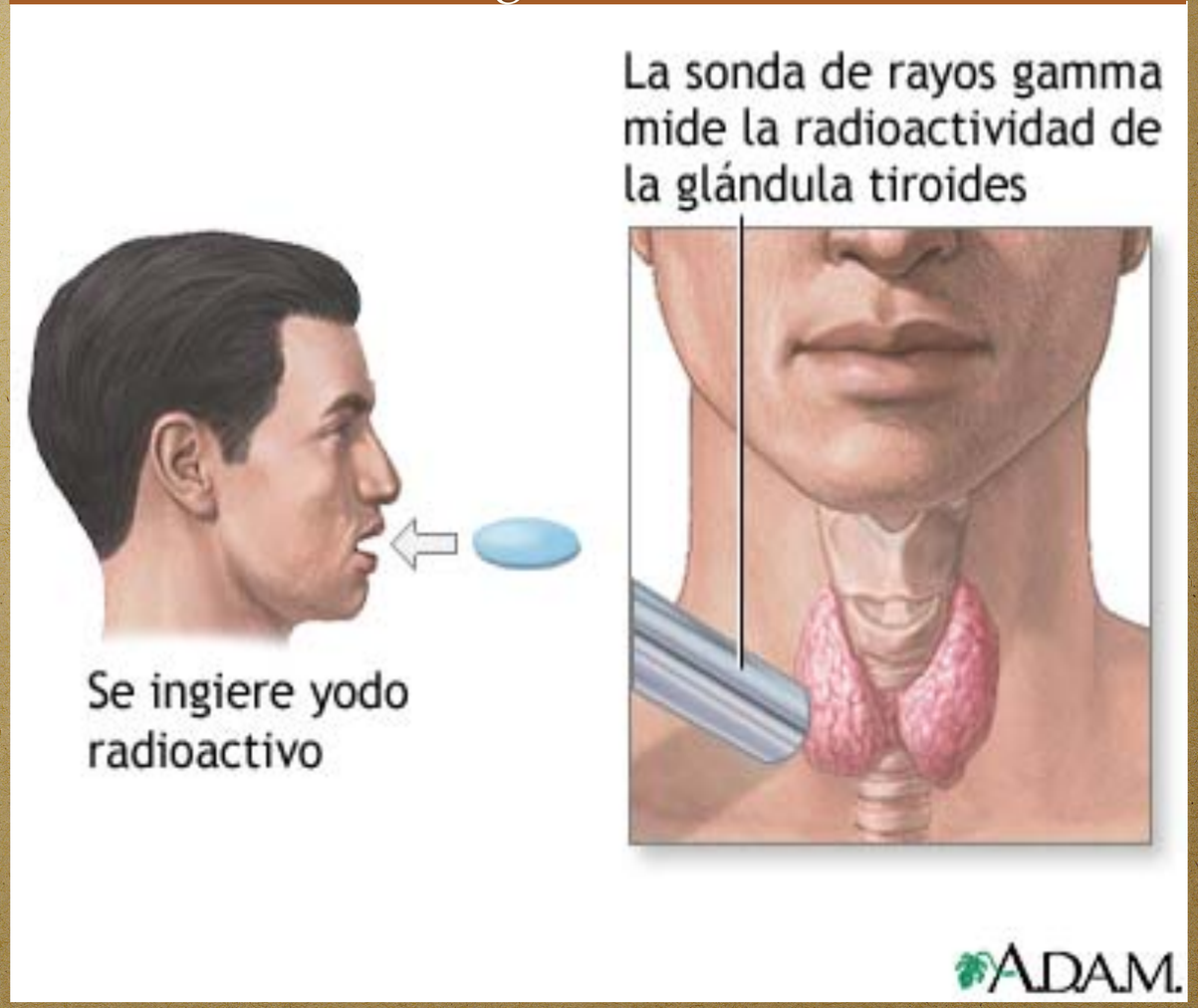
Terapia con núcleos radiactivos

Consiste en el uso de radiación para destruir las células cancerígenas.

Se inyecta núcleos radioactivos más energéticos que destruyen las células dañadas

Se inyecta núcleos estable que luego se activan (Ej. Boro)

Radio terapia por Yodo: ^{131}I
Rango 0.6-2 mm

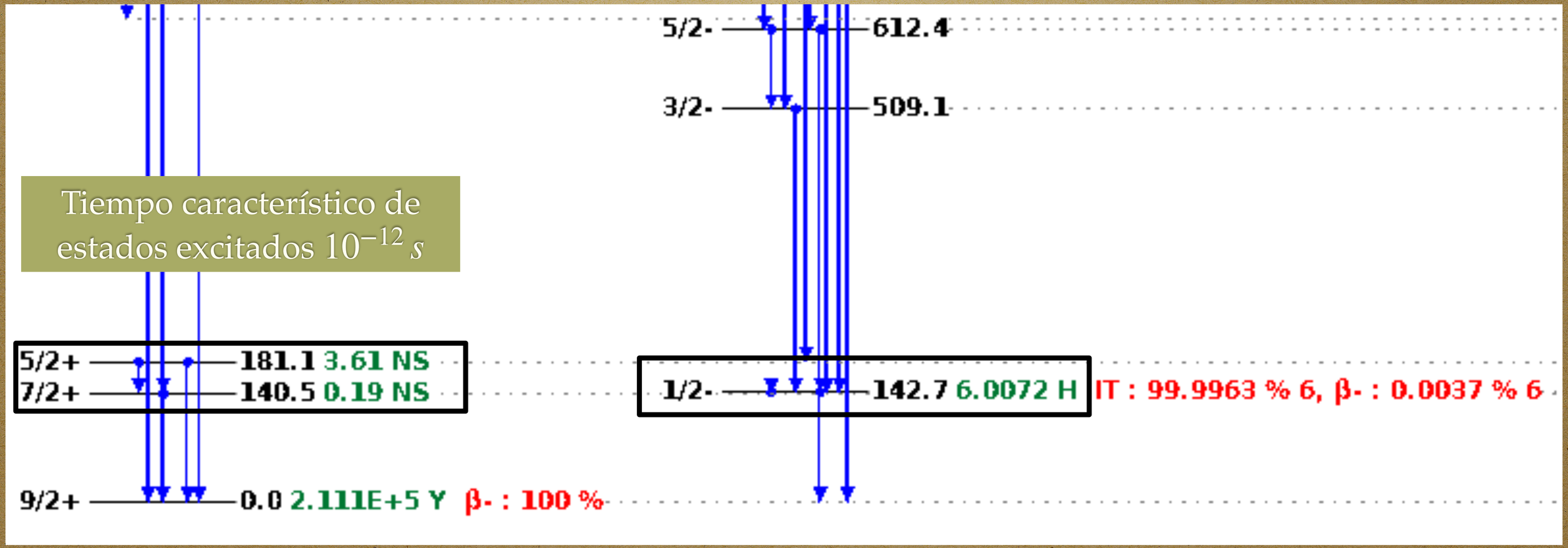


Crédito: umm.edu

Uso de núcleos isómeros para diagóstico

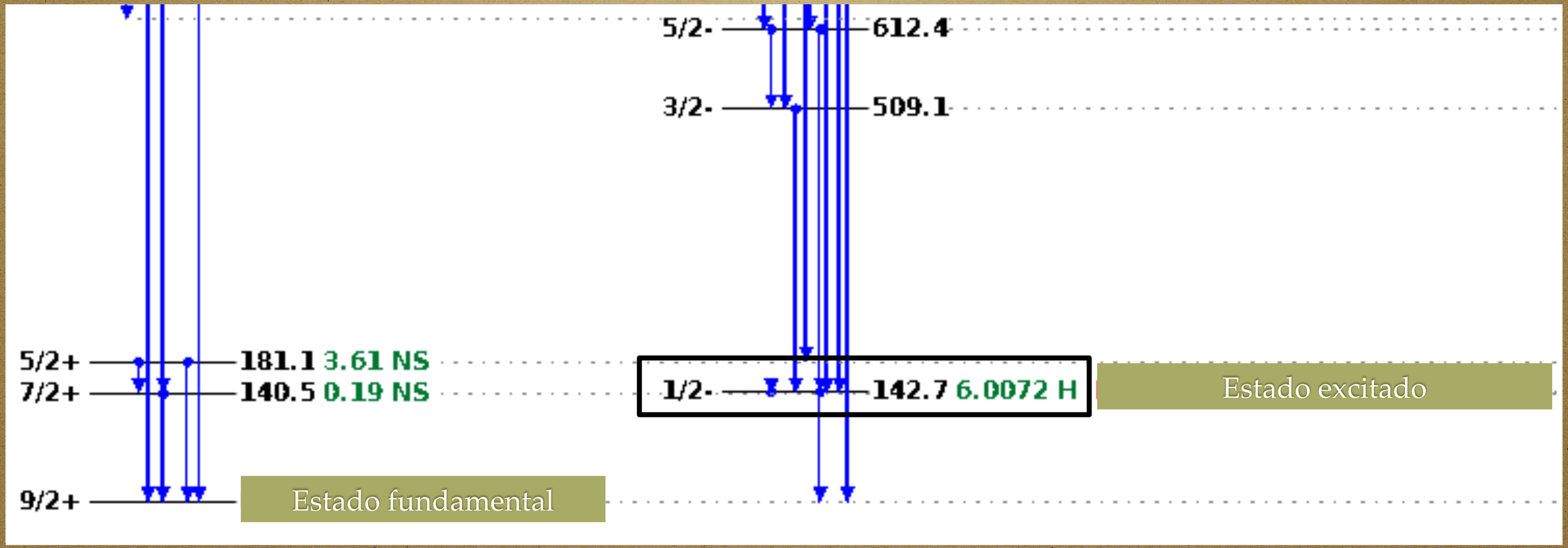
Núcleos isómeros

Tiempo característico de isómeros $> 10^{-9}\ s$



Tiempo característico de estados excitados $10^{-12}\ s$

Núcleos isómeros



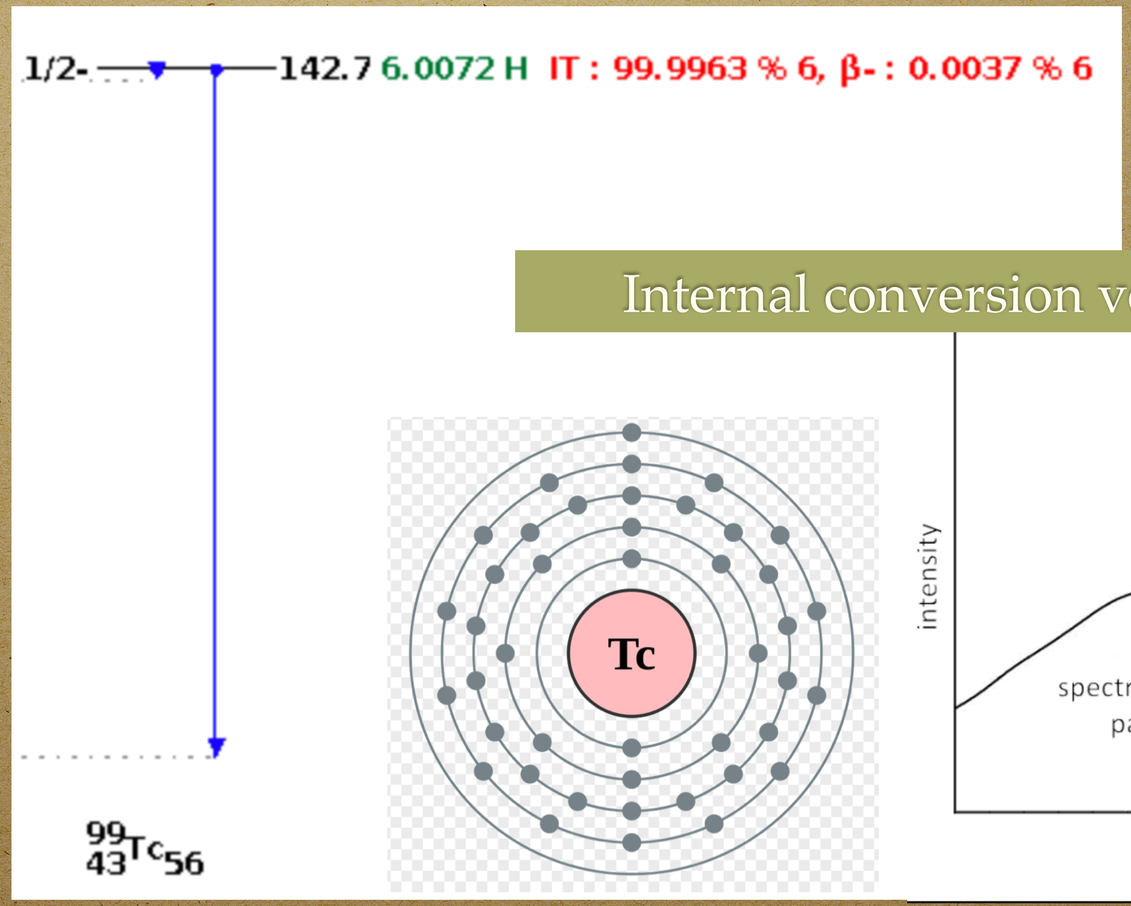
$$^{99}_{49}Tc^{m} \rightarrow \boxed{T_{1/2} = 6\,hs}$$

Sobre el Tecnecio

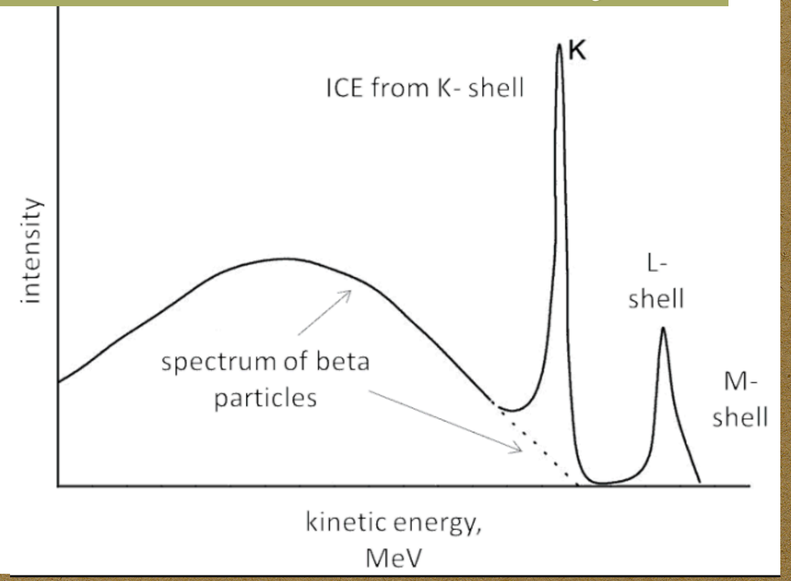
$$^{99}_{49}Tc^{m} \rightarrow T_{1/2} = 6\,hs$$

Energía de decaimiento: 140 keV

Modo de decaimiento: internal conversion



Internal conversion versus beta decay



Sobre el Tecnecio

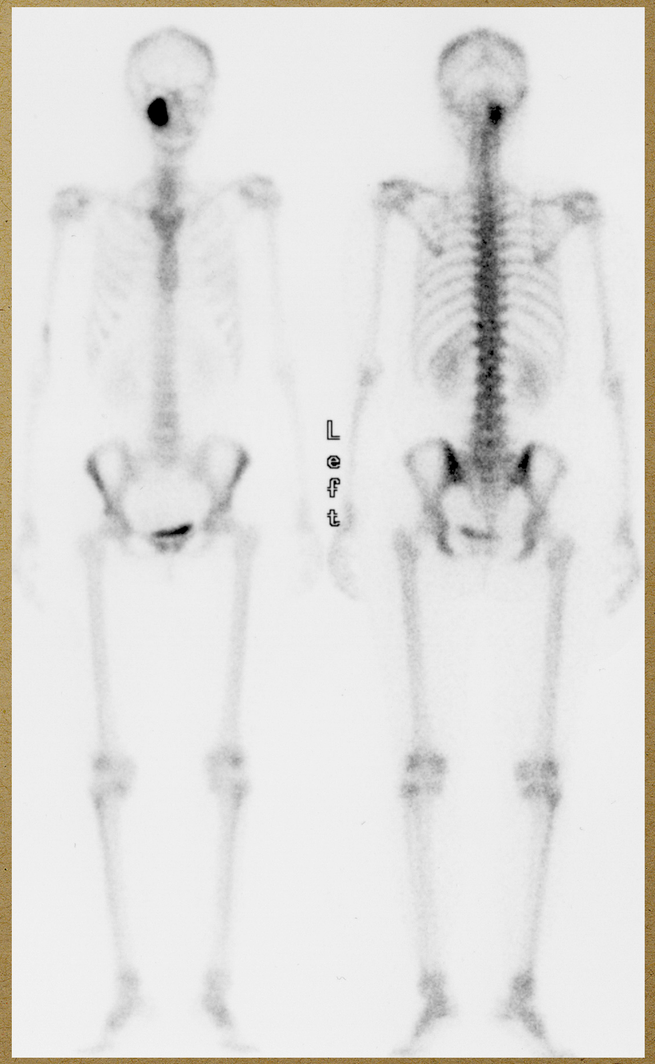
Energía de decaimiento: 140 keV

Modo de decaimiento: internal conversion

Tiempo de vida media: $^{99}_{49}Tc^{m} \rightarrow T_{1/2} = 6\,hs$

- El 80% de los diagnóstico por imagen usan Tecnecio
- Existen alrededor de 31 radiofármacos que pueden combinarse con el Tecnecio para aplicarse al organismo

- Permite el estudio:
  - Cerebro
  - Miocardio
  - Glándula tiroidea
  - Pulmones
  - Hígado
  - Vesícula biliar
  - Riñones
  - Esqueleto
  - Sangre
  - Tumores



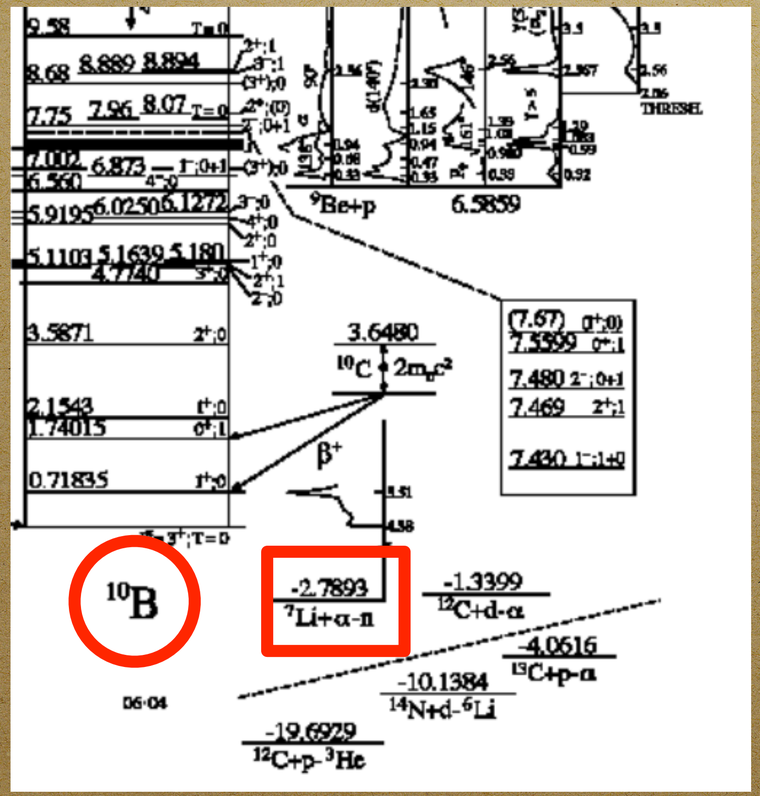
Crédito: Raziel~commonswiki https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=616971

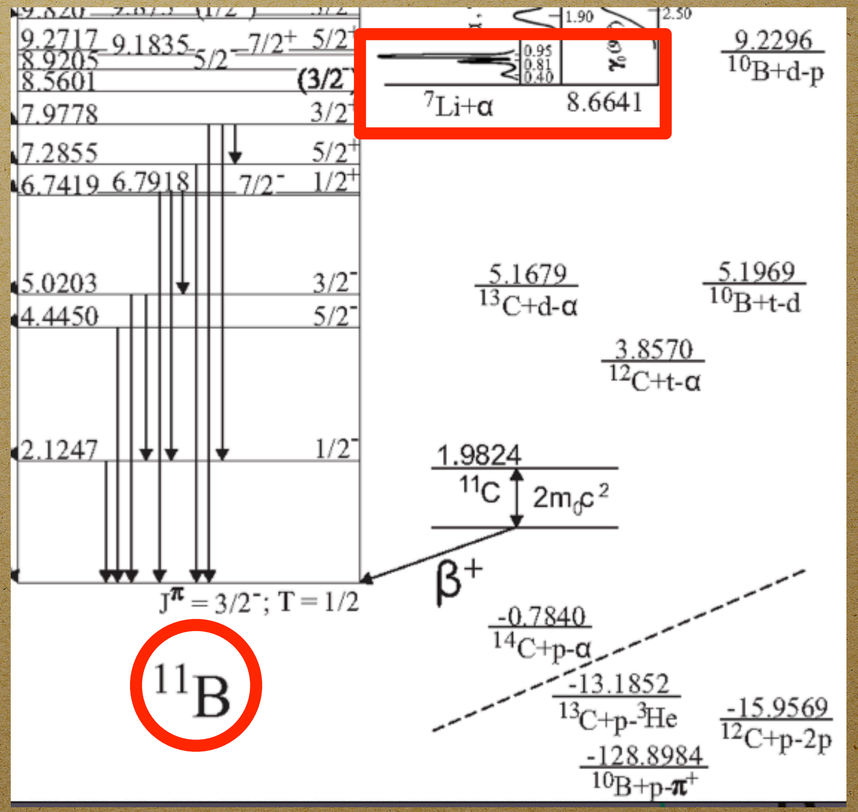
Uso del Boro para terapia

Sobre la estabilidad del núcleo de Boro

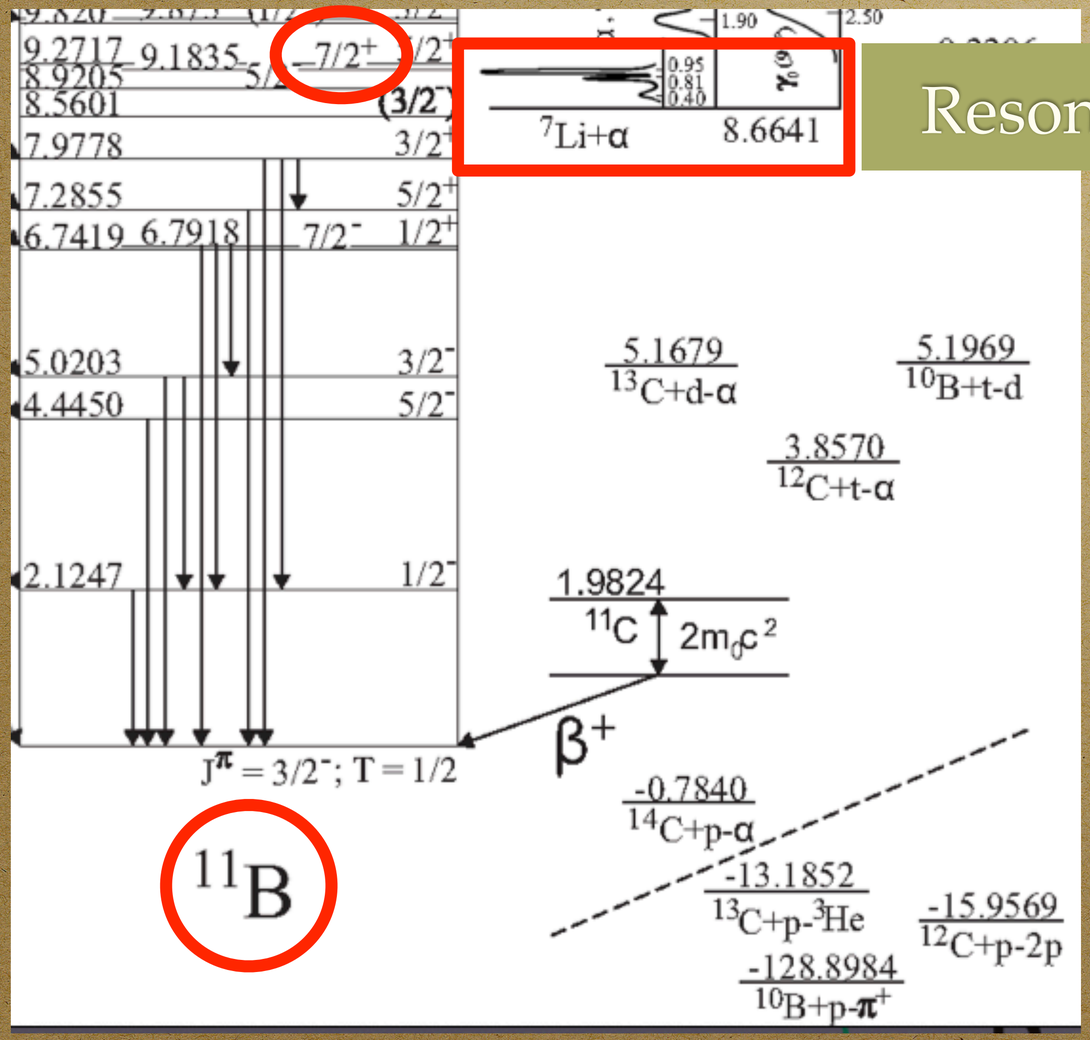
Z=5

9B	10B	11B	12B
0.54 KeV	STABLE	STABLE	20.20 MS
	19.9%	80.1%	
2α: 100.00%			β-: 100.00%
P: 100.00%			B3A: 1.58%
8.43E-19	1.00E+24	1.00E+24	2.02E-2

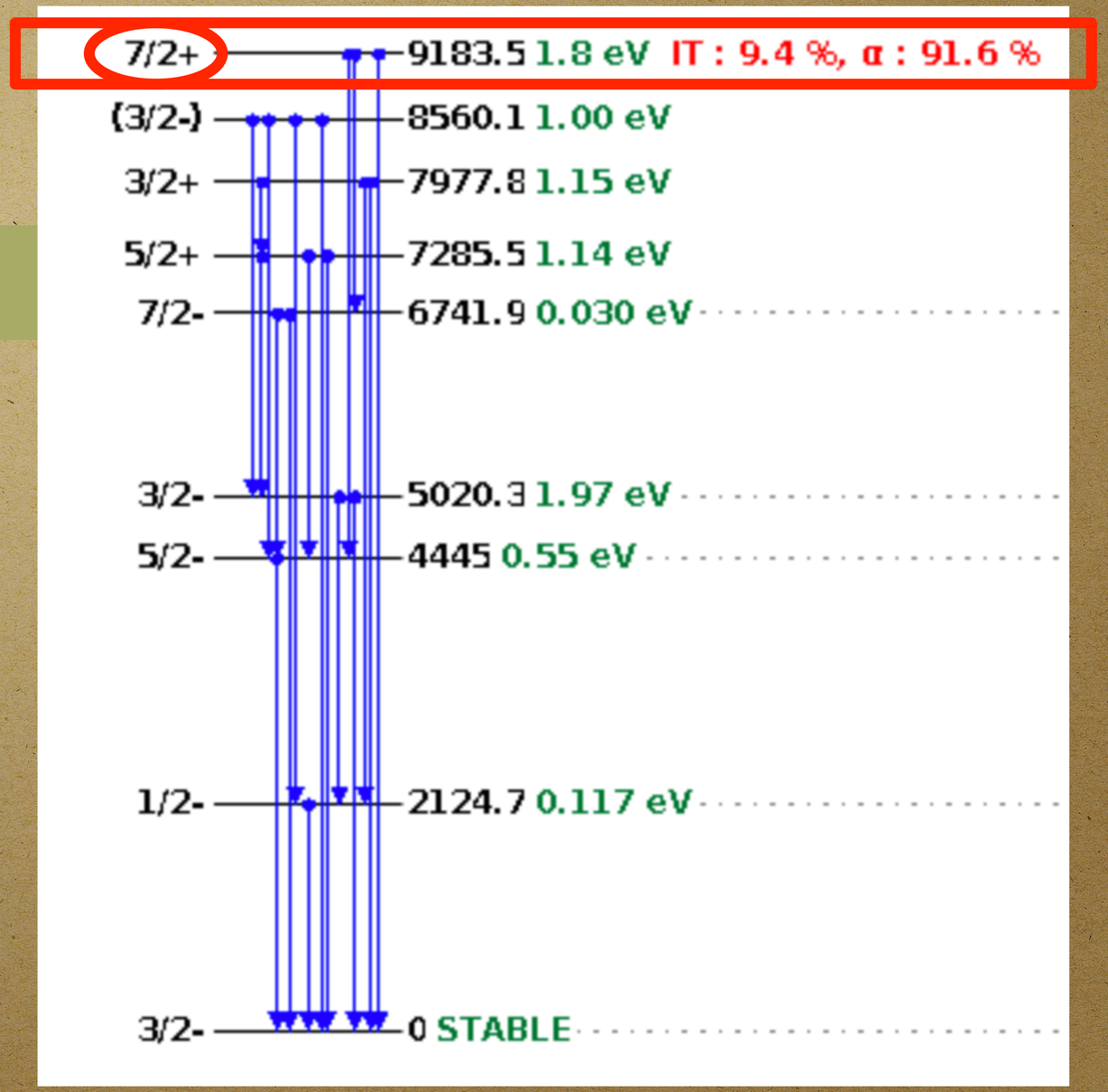




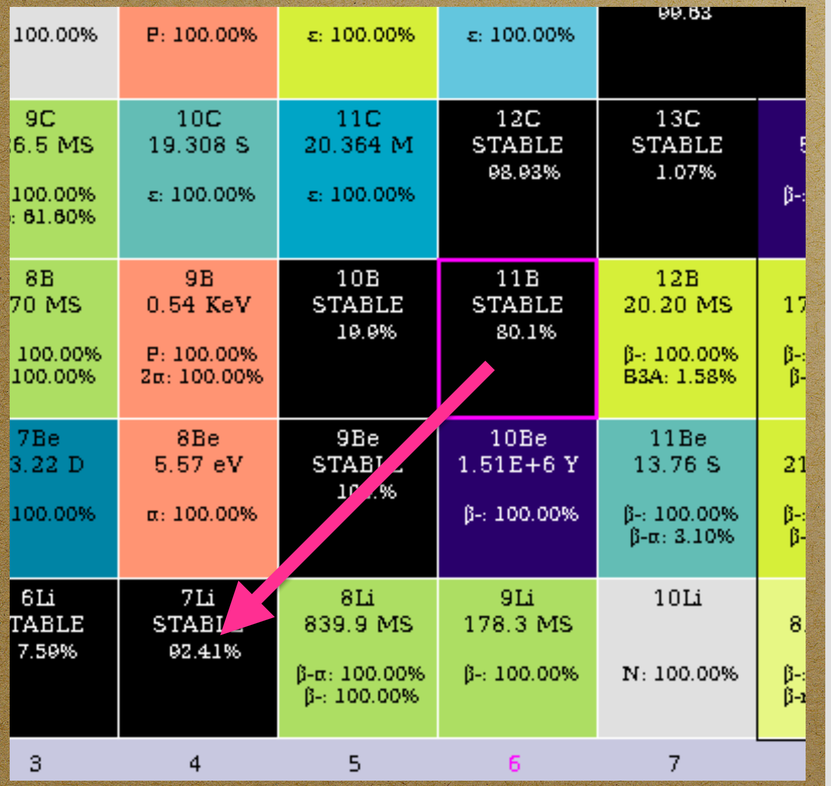
Resonancia en el núcleo de Boro

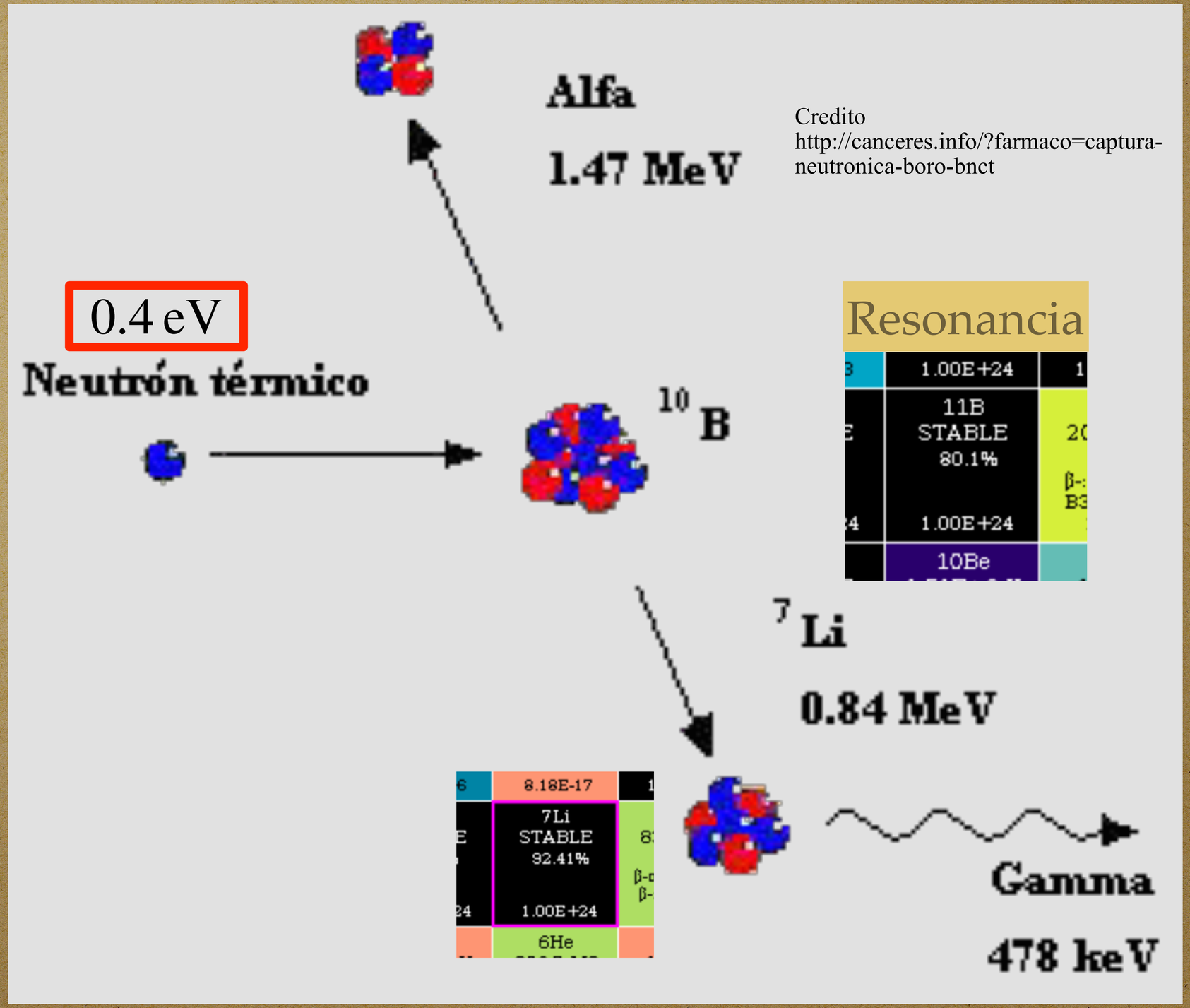


Resonancias



Ruptura del ^{11}B

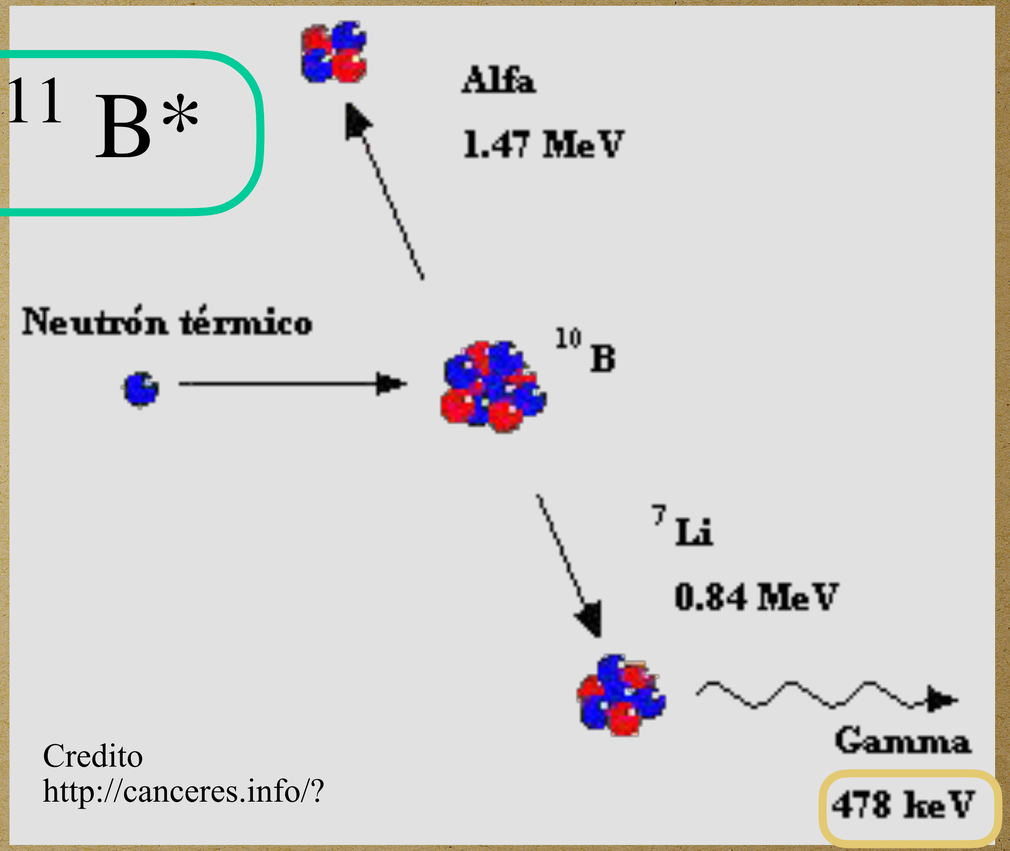




Credito
http://canceres.info/?farmaco=captura-neutronica-boro-bnct

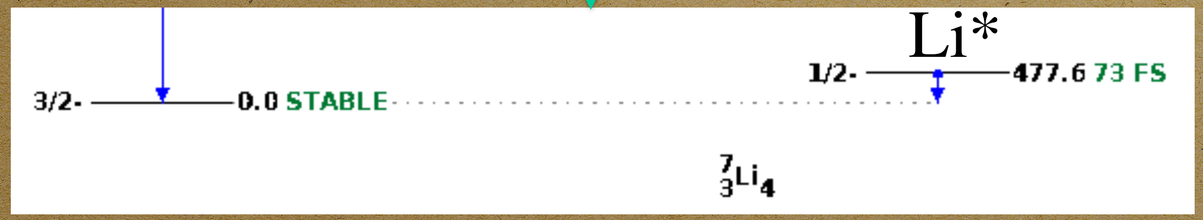
Reacción

$$ {}^{10}_{5}B_5 + n(0.4eV) \rightarrow {}^{11}B^* $$



Credito
http://canceres.info/?

$$ {}^{11}_{5}B^*_6 \rightarrow {}^{4}_{2}He_2 + {}^{7}_{3}Li^*_4 + 2.31\,MeV $$



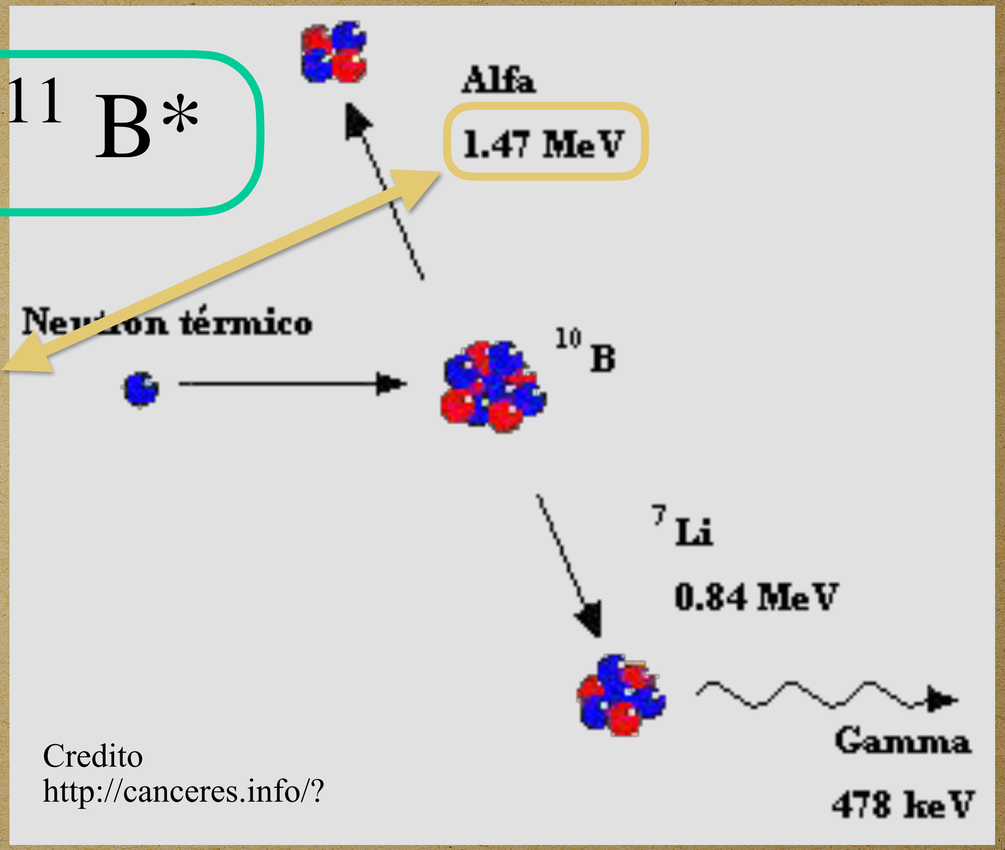
$$ {}^{7}_{3}Li^*_4 \rightarrow {}^{7}_{3}Li_4 + \gamma(0.478MeV) $$

Reacción

$$^{10}_{5}B_5 + n(0.4eV) \rightarrow ^{11}B^*$$

$$0.840\,\mathrm{MeV(Li)} + 1.47\,\mathrm{MeV}(\alpha)$$

$$^{11}_{5}B^*_6 \rightarrow ^{4}_{2}He_2 + ^{7}_{3}Li^*_4 + 2.31\,\mathrm{MeV}$$



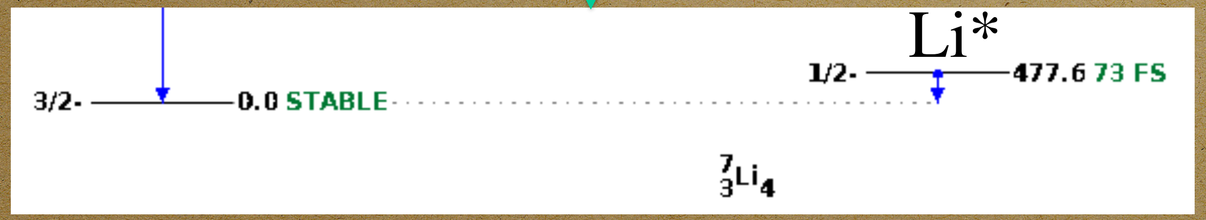
Credito
http://canceres.info/?

Destrucción células

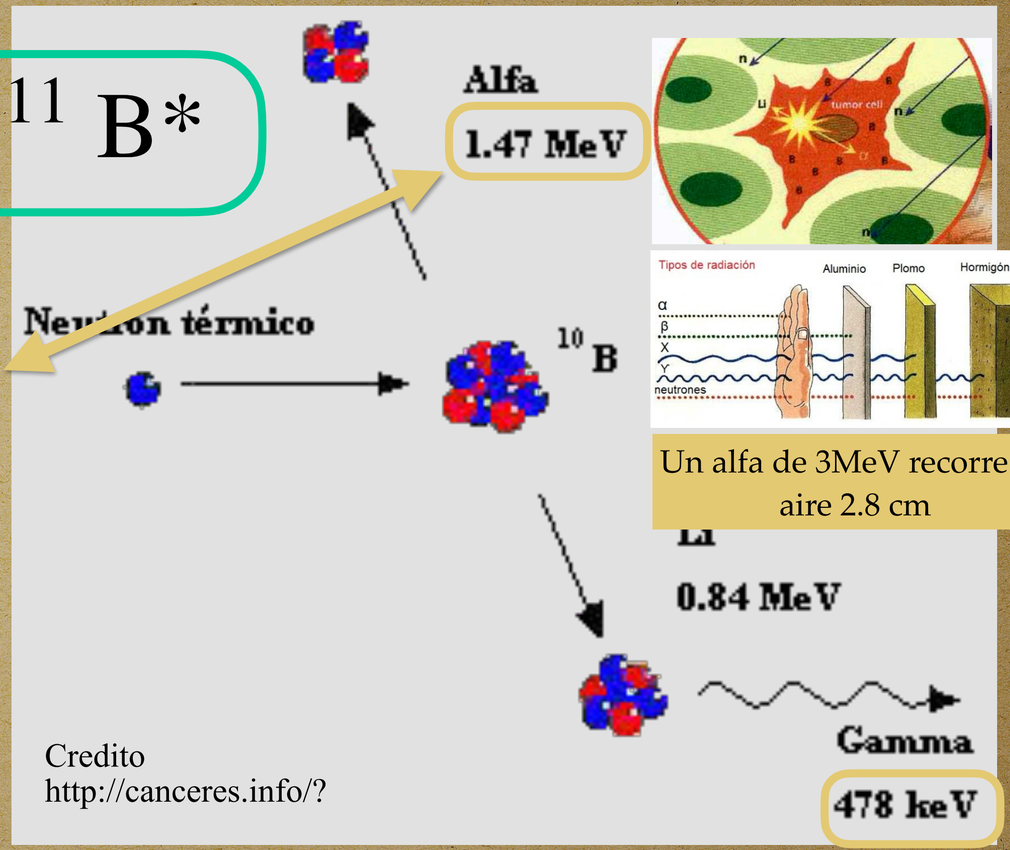
$$^{10}_{5}B_5 + n(0.4eV) \rightarrow ^{11}B^*$$

$$0.840\,\mathrm{MeV(Li)} + 1.47\,\mathrm{MeV}(\alpha)$$

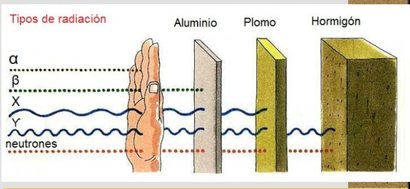
$$^{11}_{5}B^*_6 \rightarrow ^{4}_{2}He_2 + ^{7}_{3}Li^*_4 + 2.31\,\mathrm{MeV}$$



$$^{7}_{3}Li^*_4 \rightarrow ^{7}_{3}Li_4 + \gamma(0.478\mathrm{MeV})$$



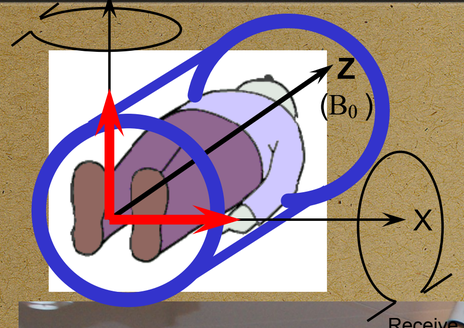
Credito
http://canceres.info/?



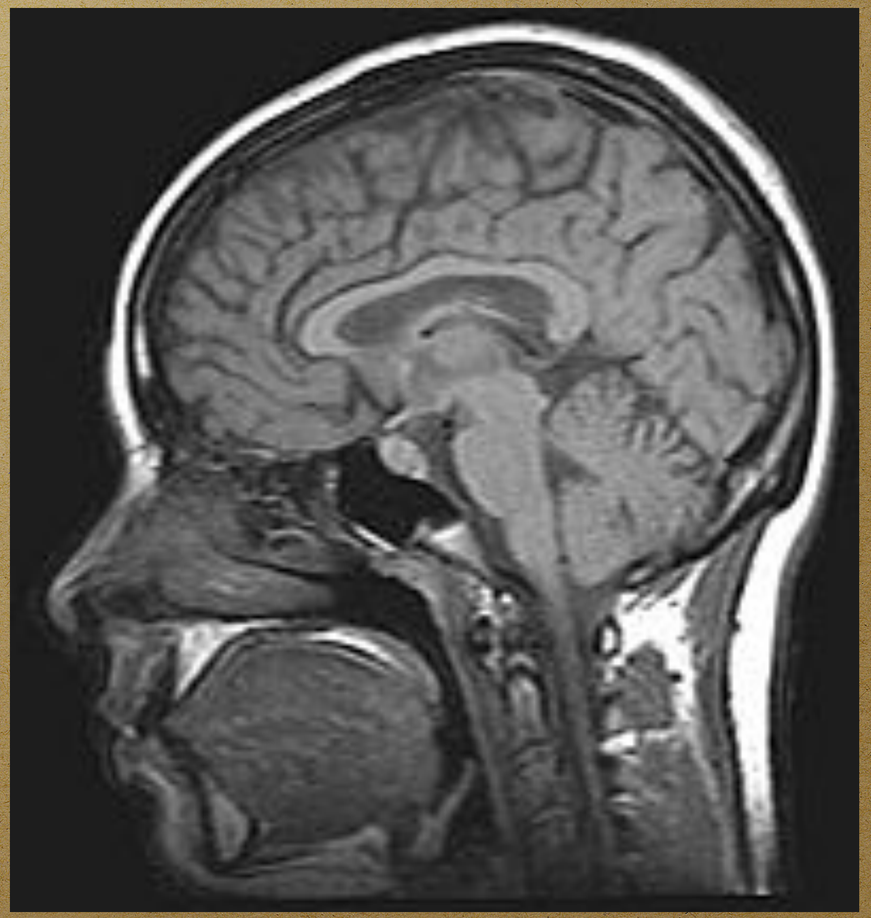
Un alfa de 3MeV recorre en aire 2.8 cm

Resonancia magnética nuclear

Diagnóstico por resonancia nuclear



Crédito: Evert J. Blink



Crédito: Wikipedia

Momento magnético

Momento magnético

$$\boldsymbol{\mu} = \frac{g}{2mc} q\boldsymbol{s}$$

Campo magnético

$$\boldsymbol{B} = B_0 \hat{k}$$

Interacción

$$H = -\boldsymbol{\mu} \cdot \boldsymbol{B}$$

$$\boxed{H = \omega_0 s_z}$$

$$\omega_0 = -\frac{g}{2mc} q B_0$$

Frecuencia de Lamor

Solución Hamiltoniano

$$H|\pm\rangle = E_\pm |\pm\rangle$$

$$E_\pm = \pm \frac{\omega_0 \hbar}{2}$$

Momento magnético con campo estático

Momento magnético

$$\boldsymbol{\mu} = \frac{g}{2mc} q\boldsymbol{s}$$

Campo magnético

$$\boldsymbol{B} = B_0 \hat{k}$$

Interacción

$$H = -\boldsymbol{\mu} \cdot \boldsymbol{B}$$

$$H = \omega_0 s_z$$

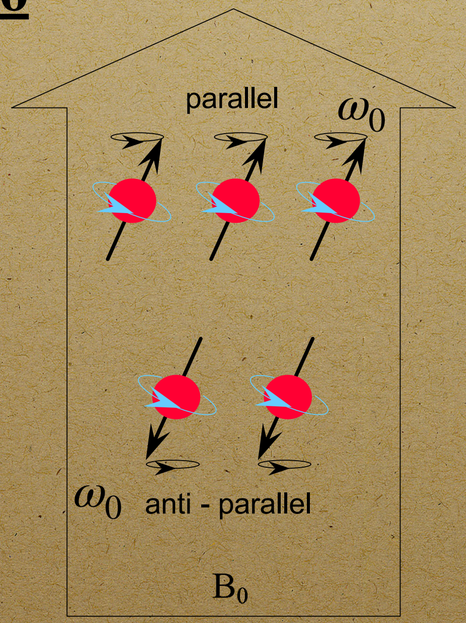
$$\omega_0 = -\frac{g}{2mc} q B_0$$

Frecuencia de Lamor

Solución Hamiltoniano

$$H|\pm\rangle = E_\pm |\pm\rangle$$

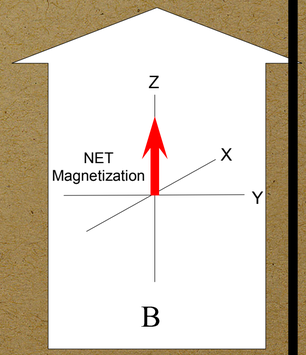
$$E_\pm = \pm \frac{\omega_0 \hbar}{2}$$



Crédito: Evert J. Blink

Efecto neto

$$\frac{|-\rangle - |+\rangle}{|-\rangle} \sim \frac{6}{10^6}\Big|_{B_0=1\mathrm{T}}$$



Para referencia:

$$B_0(Tierra) \sim 30 - 70\,\mu\mathrm{T}$$

Campo magnético dependiente del tiempo
Resonancia = Palanca

Campo magnético

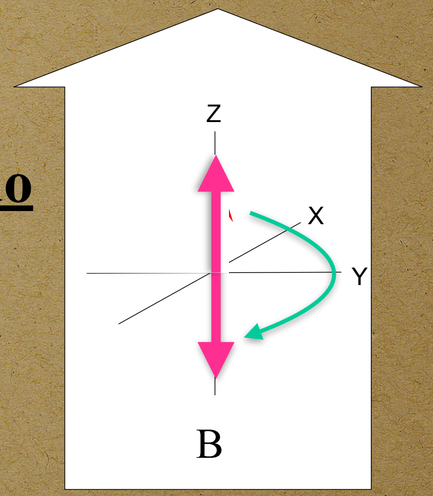
$$\boldsymbol{B} = B_1 \cos \omega t \, \hat{i}$$

$$B_1 \ll B_0$$

Transición Resonante

$$\omega \rightarrow (E_- \rightarrow E_+)$$

Cambio de estado excitado al fundamental



Emisión de energía

Interacción dependiente del tiempo

$$H = \omega_0 s_z - \frac{gqB_1}{2mc} \cos \omega t \, s_x$$

$$H = \frac{\hbar}{2} \begin{pmatrix} \omega_0 & \omega_1 \cos \omega t \\ \omega_1 \cos \omega t & -\omega_0 \end{pmatrix}$$

$$\omega_1 = -\frac{g}{2mc} qB_1 \qquad |\omega_1| \ll |\omega_0|$$

Condición sobre el campo dependiente del tiempo

Campo magnético dependiente del tiempo: solución

Hamiltoniano

$$H\Psi(t) = i\hbar\frac{\Psi(t)}{dt}$$

$$H = \frac{\hbar}{2}\begin{pmatrix} \omega_0 & \omega_1 \cos\omega t \\ \omega_1 \cos\omega t & -\omega_0 \end{pmatrix}$$

Ansatz

$$\Psi(t) = e^{-i\frac{\omega_0}{2}t}\, a(t)\,|+\rangle + e^{i\frac{\omega_0}{2}t}\, b(t)\,|-\rangle$$

$$\frac{d^2b}{dt^2} + i(\omega_0 - \omega)\frac{db}{dt} + \left(\frac{\omega_1}{4}\right)^2 d = 0$$

Campo magnético dependiente del tiempo: solución

Condición contorno

$$a(t=0)=1; \quad b(t=0)=0$$

$$|a(t)|^2+|b(t)|^2=1$$

Solución

$$\Psi(t)=e^{-i\frac{\omega_0}{2}t}a(t)|+\rangle+e^{i\frac{\omega_0}{2}t}b(t)|-\rangle$$

$$a(t)=2A\frac{\omega_0-\omega_1}{\omega_1}e^{i\frac{(\omega_0-\omega)}{2}t}\left(-\sin\Omega t-i\sqrt{1+\frac{\omega_1^2}{4(\omega_0-\omega)^2}}\cos\Omega t\right)$$

$$\boxed{b(t)=Ae^{-i\frac{(\omega_0-\omega)}{2}t}\sin\Omega t}$$

$$\boxed{\Omega=\frac{1}{2}\sqrt{(\omega_0-\omega)^2+\frac{\omega_1^2}{4}}}$$

Breit-Weigner

$$|A|^2=\frac{(\omega_1/2)^2}{(\omega_0-\omega)^2+(\omega_1/2)^2}$$

Probabilidad transición de un nucleón en un campo

Evolución temporal

$$\Psi(t) = e^{-i\frac{\omega_0}{2}t}\, a(t)\,|+\rangle + e^{i\frac{\omega_0}{2}t}\, b(t)\,|-\rangle$$

Condición inicial

$$a(t=0) = 1; \quad b(t=0) = 0$$

Probabilidad transición

$$|b(t)|^2 = \frac{(\Gamma_1/2)^2}{(E_0 - E)^2 + (\Gamma_1/2)^2} \sin \Omega t$$

$$E = \hbar\omega; \quad \Gamma_1 = \hbar\omega_1$$

$$\Omega = \frac{1}{2}\sqrt{(E_0 - E)^2 + \frac{\Gamma_1^2}{4}}$$

Tiempo de relajación al quitar la perturbación

Evolución temporal

$$\Psi(t) = e^{-i\frac{\omega_0}{2}t}a(t)|+\rangle + e^{i\frac{\omega_0}{2}t}b(t)|-\rangle$$

Resonancia

$$|b(t)|^2 = \frac{(\Gamma_1/2)^2}{(E_0 - E)^2 + (\Gamma_1/2)^2}\sin\Omega t$$

Resonancia

$$\omega \to (E_- \to E_+)$$

Cada sustancia emite un fotón con energía característica

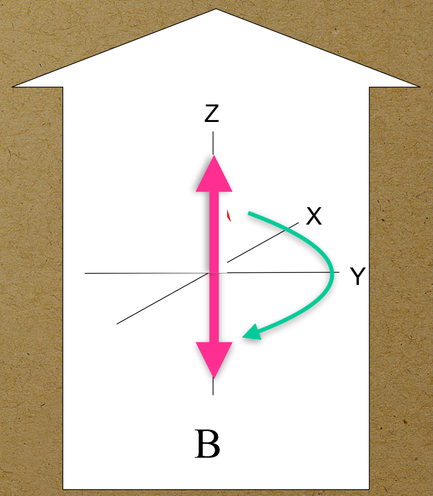
Condición inicial

$$a(t=0) = 1; \quad b(t=0) = 0$$

Tiempo de relajación

$$|+\rangle \to |-\rangle$$

$$T = \frac{\hbar}{\Gamma_1} = |\omega_1| = \frac{2mc}{g|q|B_1}$$



$$E_\pm = \pm\frac{\omega_0\hbar}{2}$$

Funcionamiento

- El campo B_0 alinea mayormente lo momentos magnéticos de los protones

$$\boldsymbol{B} = B_0 \hat{k}$$

- El campo débil B_1 excita algunos protones mediante un proceso resonante

$$\boldsymbol{B} = B_1 \cos \omega t \, \hat{i}$$

$$\omega \rightarrow (E_- \rightarrow E_+)$$

$$|b(t)|^2 = \frac{(\Gamma_1/2)^2}{(E_0 - E)^2 + (\Gamma_1/2)^2} \sin \Omega t$$

- **Al quitar el campo débil B1 la resonancia decae con un tiempo de relajacion**

$$T = \frac{2mc}{g|q|B_1}$$

- **La energía del fotón en la transición depende del tejido donde se encuentre el protón**

$$h\nu = E_+ - E_-$$

Funcionamiento

- El campo B_0 alinea mayormente lo momentos magnéticos de los protones

$$\boldsymbol{B} = B_0 \hat{k}$$

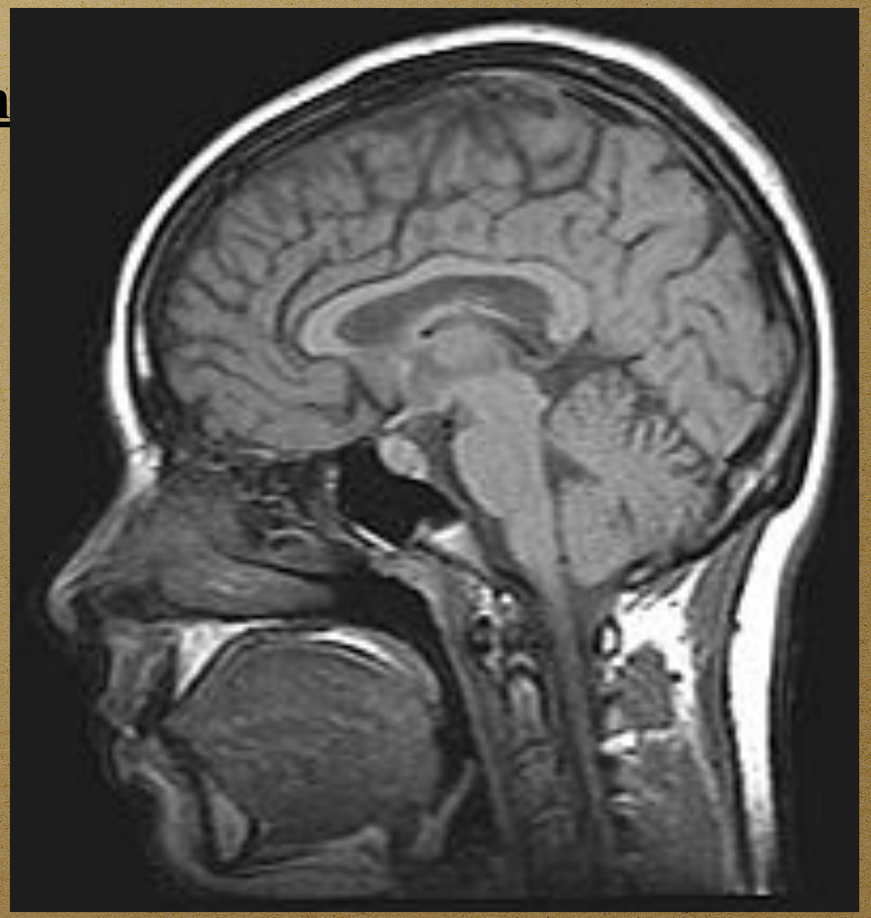
- El campo débil B_1 excita algunos protones median un proceso resonante

$$|b(t)|^2$$

- Al quitar el campo débil B1 la resonancia decae con un tiempo de relajacion

- La energía del fotón en la transición depende del tejido donde se encuentre el protón

- …+ ELECTRÓNICA + IMAGEN…



Preguntas
+
Fin

- Sobre el TP

- Sobre la próxima Clase (7/12)

- Sobre el examen (14/12)