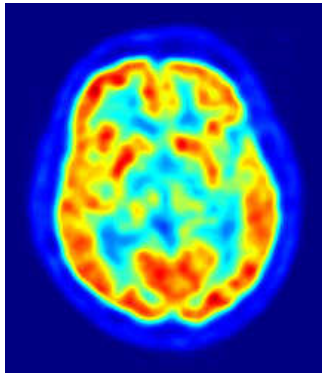
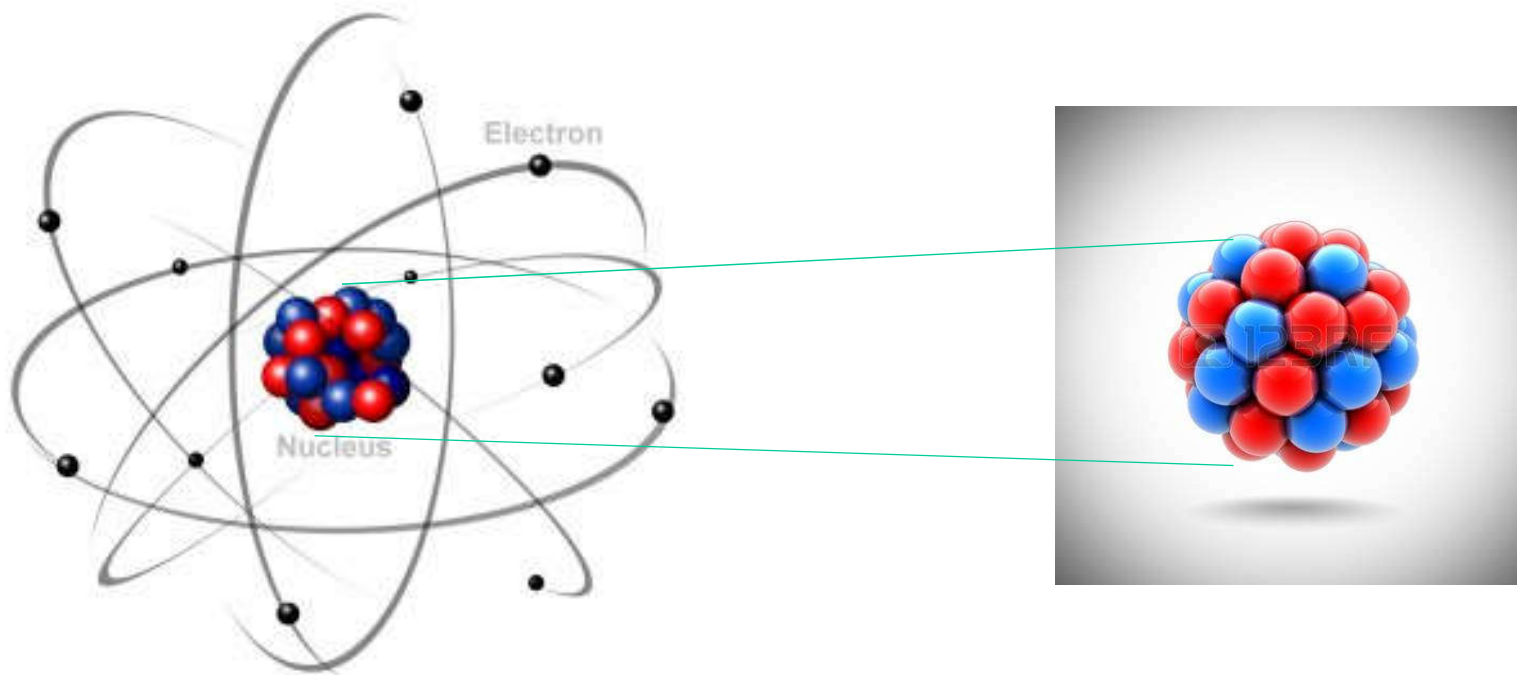


QUÍMICA NUCLEAR



Nucleones:

protones p^+ y neutrones n



Número atómico = Z = nº de protones

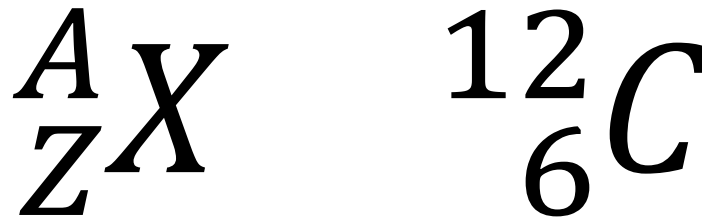
Número másico = A = nº de protones + nº de neutrones

Notación: Símbolo nuclear

Número atómico = Z = n° de protones

Número másico = A = n° de protones + n° de neutrones

X = símbolo químico



Nucleones:

protones p^+ y neutrones n

Están fuertemente unidos por
Fuerzas de corto Alcance

Fuerza nuclear = fuerza de atracción entre los nucleones

Actúa entre protones, entre neutrones ... y
entre protones y neutrones

Es la más fuerte de las que se han descubierto

La naturaleza exacta de la fuerza nuclear aún no se conoce.

Energía de unión nuclear

La equivalencia entre la masa y la energía fue formulada por Albert Einstein en la célebre ecuación

The diagram shows the equation $E = mc^2$ in the center. Three red arrows point to its components: one from the top-left to 'E', one from the top to 'm', and one from the bottom-right to 'c'. Each arrow is accompanied by a text label describing the variable and its units.

Energía en julios
(kg m² sg⁻²)

Masa en kg

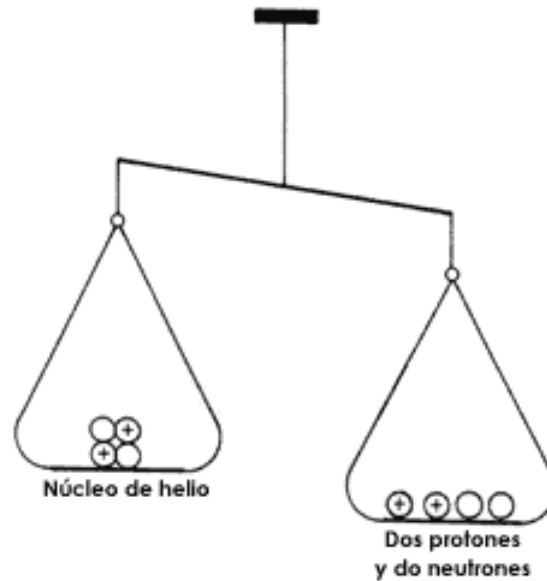
$E = mc^2$

Velocidad de la
luz en m/sg

Al tratar con las fuerzas nucleares y partículas subatómicas es cuando tenemos que considerar más seriamente esta relación

En la mayor parte de las reacciones químicas el cambio de masa es demasiado pequeño para ser considerado

¿Cómo se mide la energía de enlace de los núcleos?

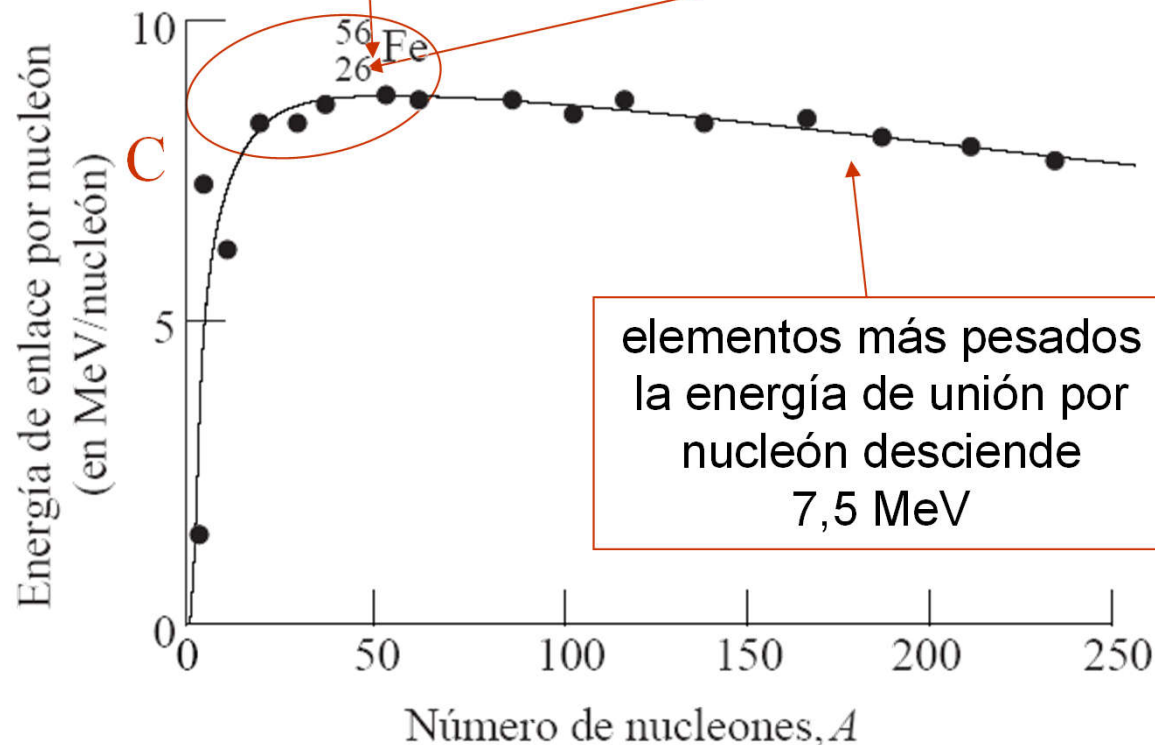


$$M = Z m_p + (A - Z) m_n - B/c^2$$

Los elementos posteriores al carbono tienen energías de unión por nucleón que varían entre unos 7.5 y 8,8 MeV

Al aumentar la energía de unión, más estable es el núclido.

más estables → números másicos intermedios 40 - 100
el máximo corresponde a hierro, cobalto y níquel.



elementos más pesados
la energía de unión por
nucleón descende
7,5 MeV

El hierro y el níquel se hallan entre los elementos más abundantes del universo y su estabilidad contribuye a eso

Entonces.....

El tamaño de los núcleos es muy pequeño

La fuerza nuclear es muy intensa y de corto alcance

¿Cuántos núcleos hay en la naturaleza?

Isótopos

Átomos del mismo elemento **igual Z**

Pero diferente número de **neutrones**

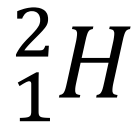
Protio



1 protón

0 neutrón

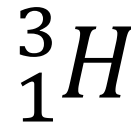
Deuterio



1 protón

1 neutrón

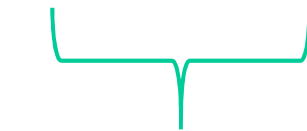
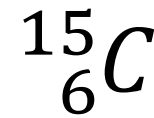
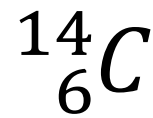
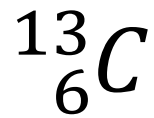
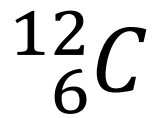
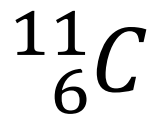
Tritio



1 protón

2 neutrón

Isótopos del C



estables



inestables

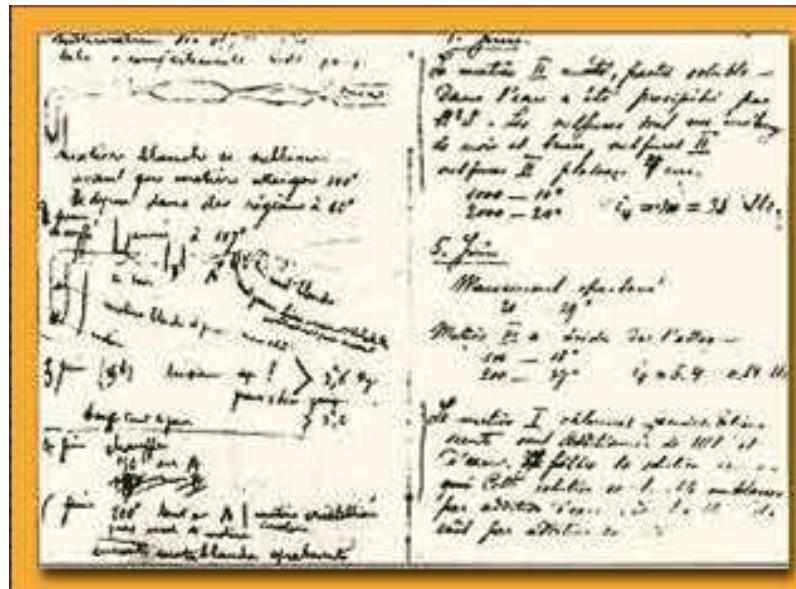
Isótopos Radiactivos

- Los Isótopos de algunos elementos **espontáneamente** emiten desde el **núcleo** partículas y energía.
- Henri Beckerel en 1896 observó accidentalmente la radioactividad en sales de **uranio (U)** porque velaban las placas fotográficas



Marie and Pierre Curie

- Estudiantes de Becquerel
- Comenzaron un estudio sistemático de otras sustancias radiactivas.
- Notaron que las sales de U eran más radiactivas que el U puro.
- Esta radiación “extra” es debida a la presencia de otro nuevo elemento al que llamaron radio (Ra)
- Recibieron el premio Nobel en física junto con Becquerel en 1903.

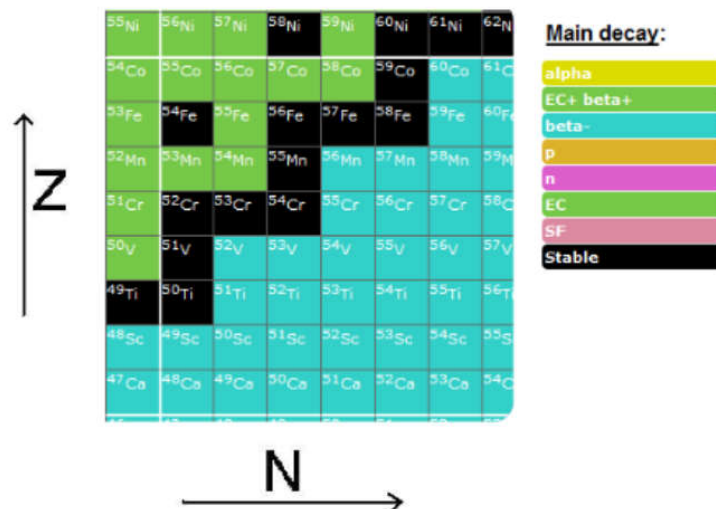
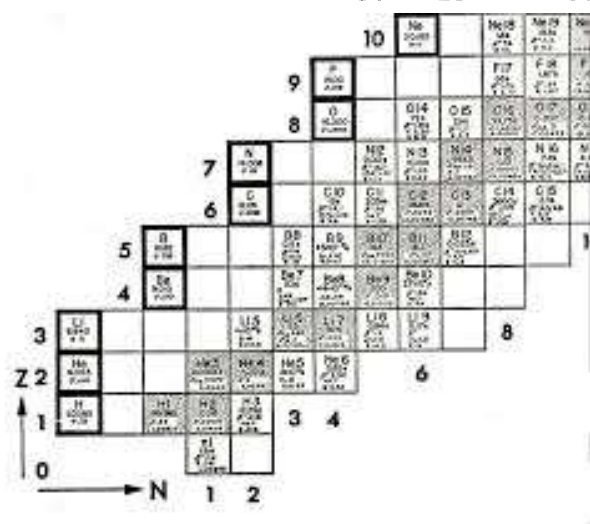
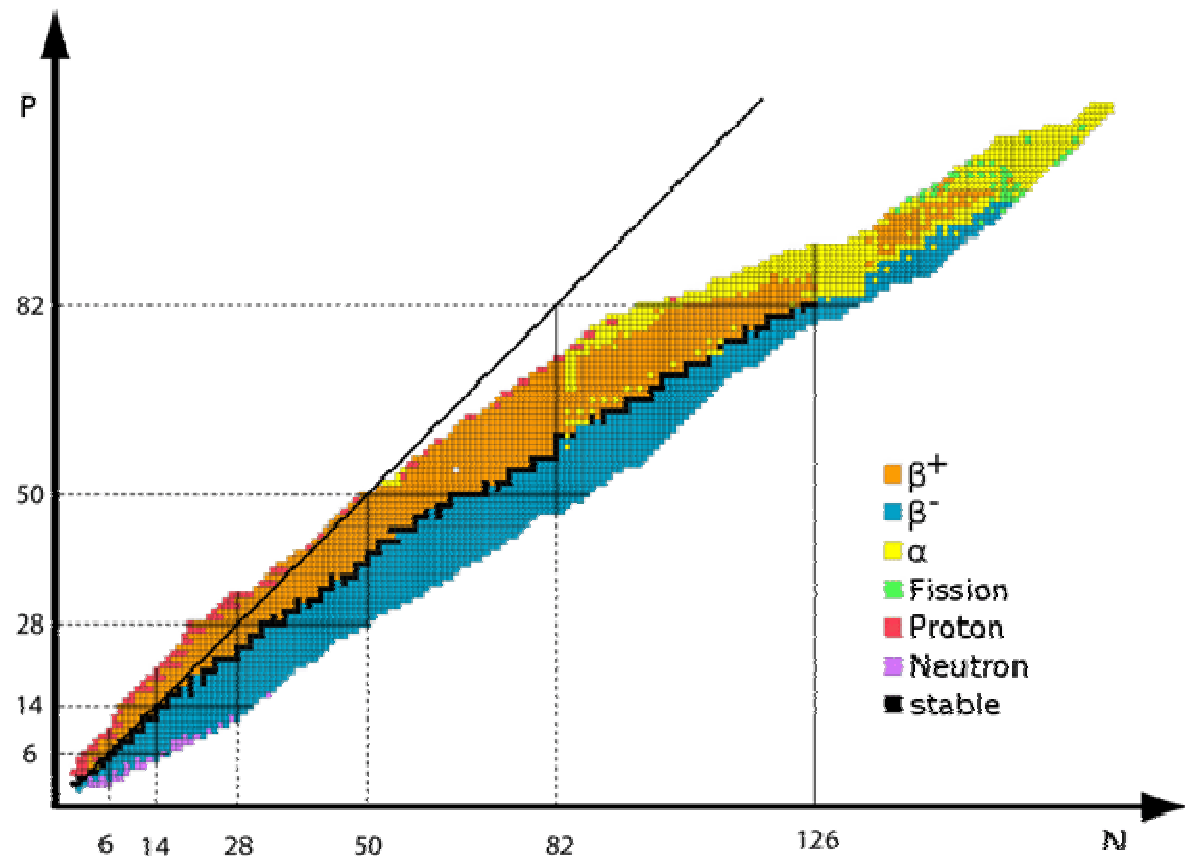


[illegible]

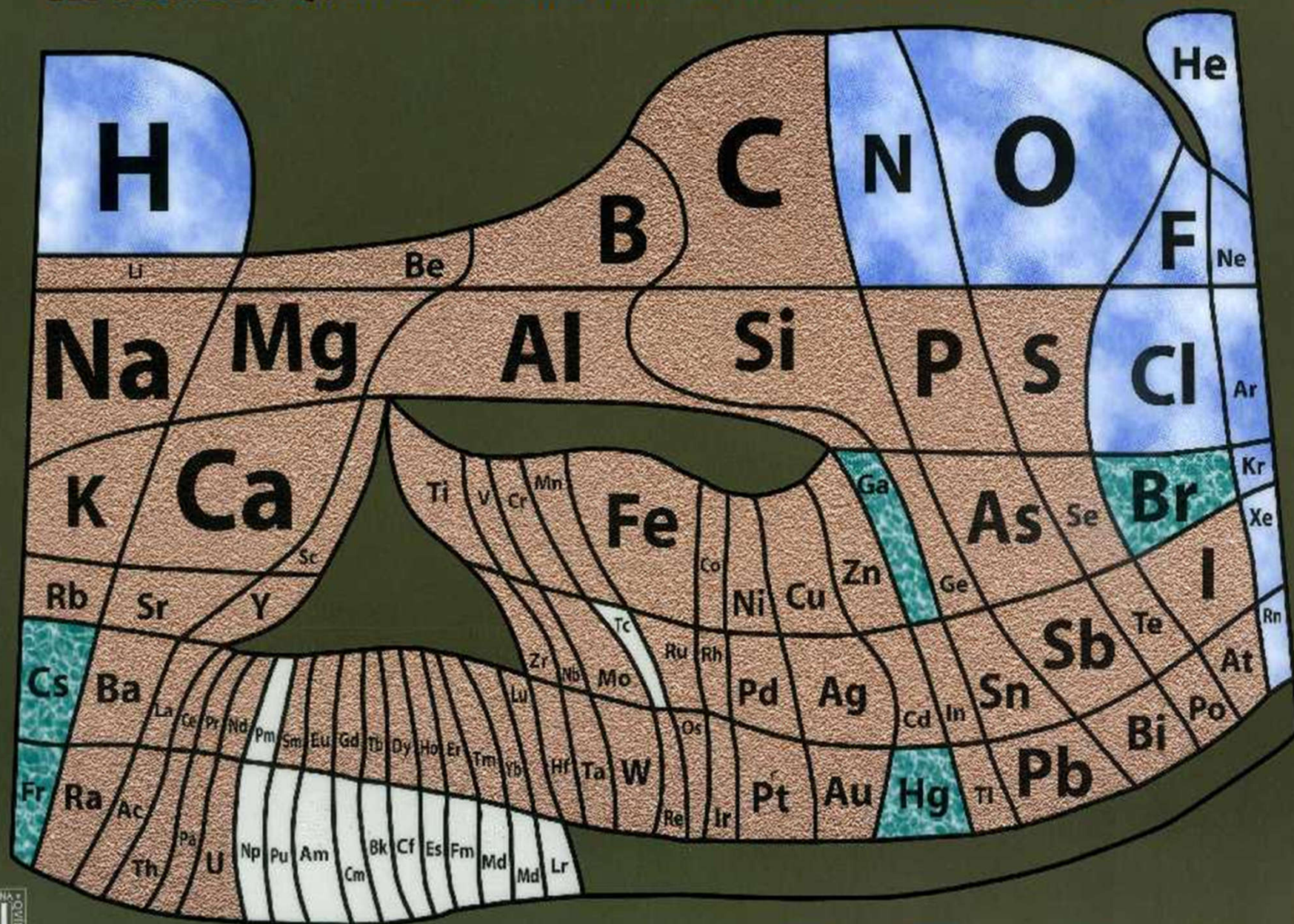
Design Copyright © 1997 [Michael Dayah](mailto:michael@dayah.com) (michael@dayah.com). <http://www.dayah.com/periodic>

Note: The subgroup numbers 1-18 were adopted in 1984 by the International Union of Pure and Applied Chemistry. The names of elements 112-118 are the Latin equivalents of those numbers.

57 La Lantano 138.9055	58 Ce Cerio 140.116	59 Pr Praseodimio 140.90765	60 Nd Neodimio 144.24	61 Pm Prometio (145)	62 Sm Samario 150.36	63 Eu Europio 151.964	64 Gd Gadolino 157.25	65 Tb Terbio 158.92534	66 Dy Disprosio 162.500	67 Ho Holmio 164.93032	68 Er Erbio 167.259	69 Tm Tulio 168.93421	70 Yb Iterbio 173.04	71 Lu Lutezio 174.967
89 Ac Attinio (227)	90 Th Torio 232.0381	91 Pa Protattinio 231.03588	92 U Uranio 238.02891	93 Np Neptunio (237)	94 Pu Plutonio (244)	95 Am Americio (243)	96 Cm Curio (247)	97 Bk Berkelio (247)	98 Cf Californio (251)	99 Es Einsteinio (252)	100 Fm Fermio (257)	101 Md Mendelevio (258)	102 No Nobelio (259)	103 Lr Lawrencio (262)

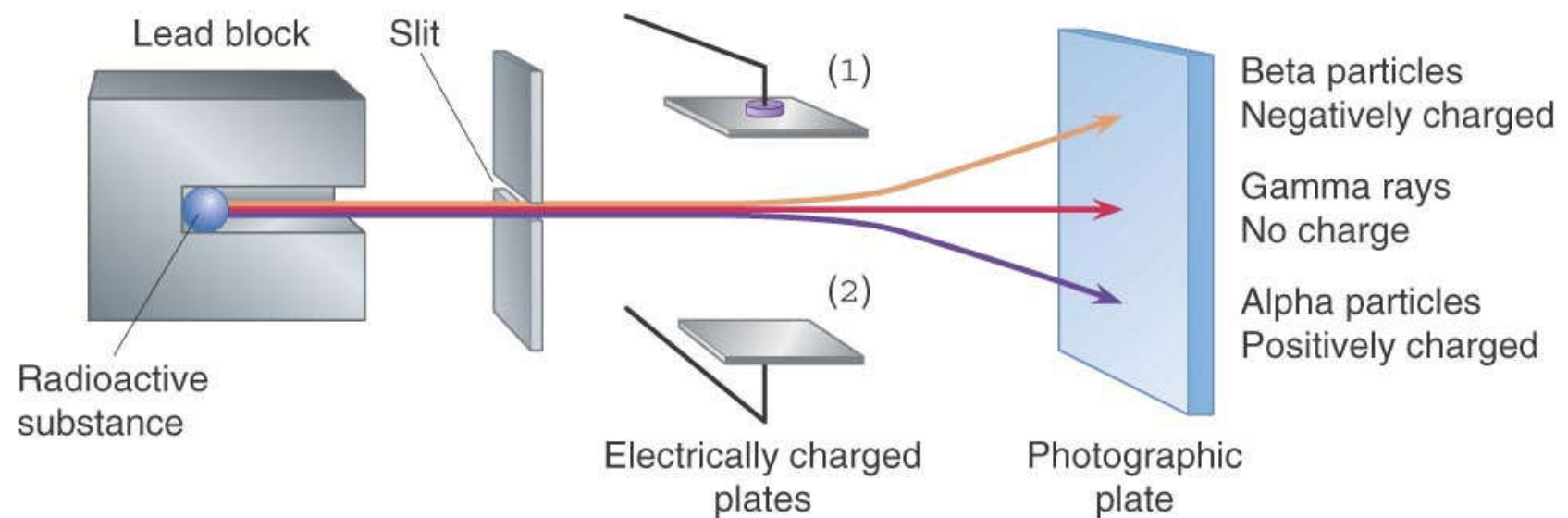


ELS ELEMENTS QUÍMICS D'ACORD AMB LA SEVA ABUNDÀNCIA A LA TERRA



Copyright © 1979 Wm. F. Stebbins. Adaptat per Closas-Relles.

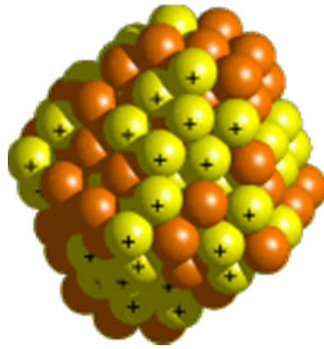
Comportamiento de la radiactividad



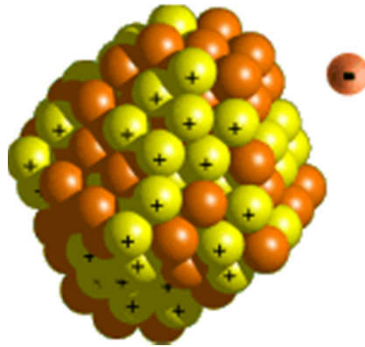
Radiactividad Natural

- Emisión alfa
- Emisión beta (β^- y β^+)
- Emisión gamma
- Captura k
- Fisión espontánea (poco frecuente)
- Fusión

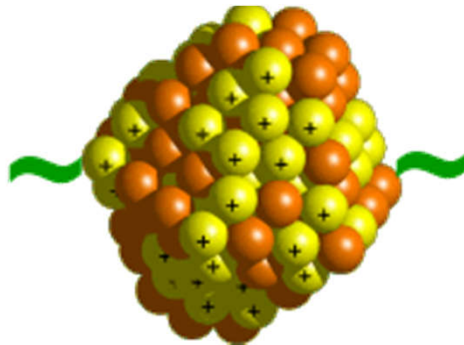
Alfa: α



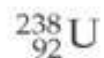
Betha: β



Gamma: γ

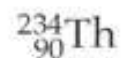


mass number = 238



atomic number = 92

sum of mass numbers = $234 + 4 = 238$



+



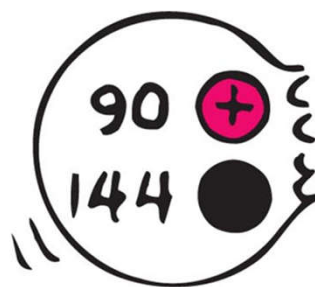
sum of atomic numbers = $90 + 2 = 92$



+



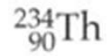
● proton
● neutron



+



mass number (superscript) = 234

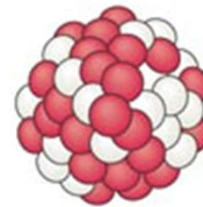
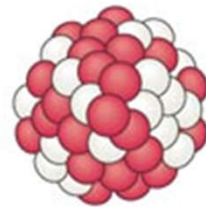


atomic number (subscript) = 90

sum of superscripts = $234 + 0 = 234$



sum of subscripts = $91 - 1 = 90$



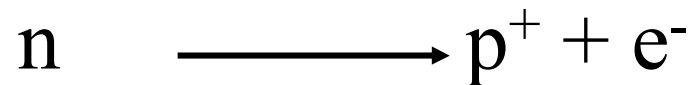
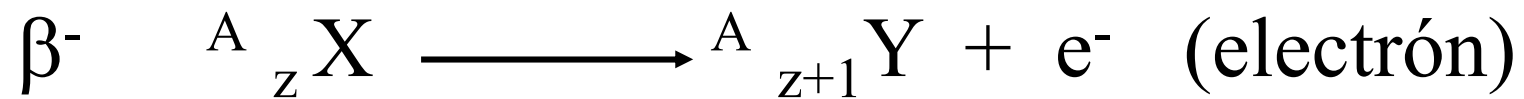
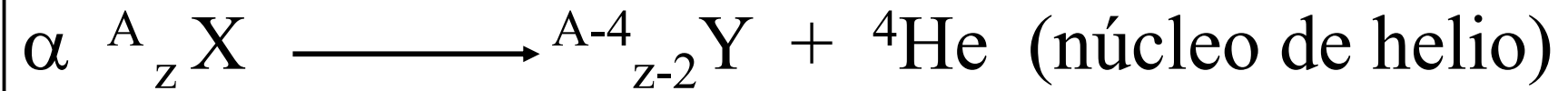
+

•

-  proton
-  neutron
-  electron



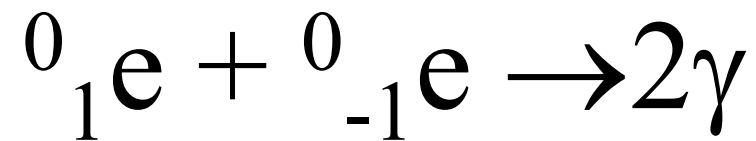
(a)



Existen algunas partículas
extrañas que pueden producirse
durante las transformaciones
nucleares

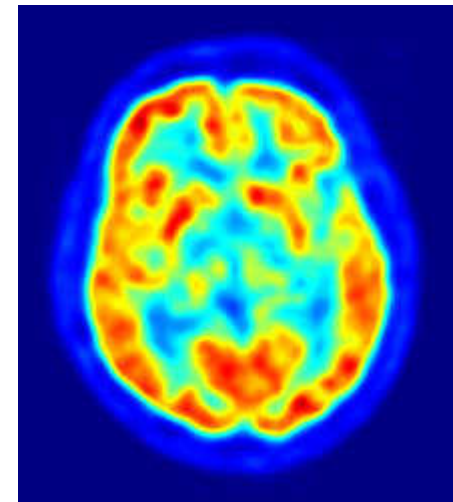
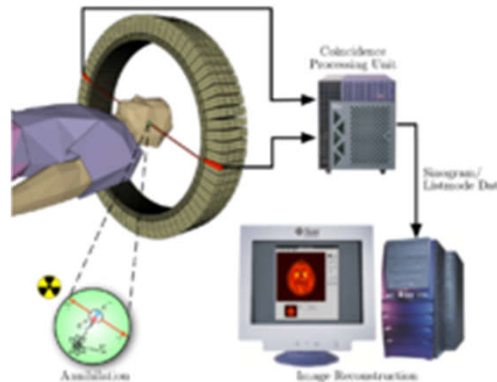
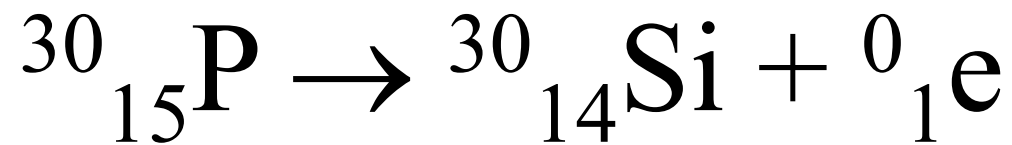
MATERIA + ANTIMATERIA =
ENERGÍA PURA

de acuerdo con $E = mc^2$



Positrones

- Con la misma masa del electrón pero carga +1
- El positrón es la “antipartícula” del electrón
- Se representa como ${}^0_1\text{e}$



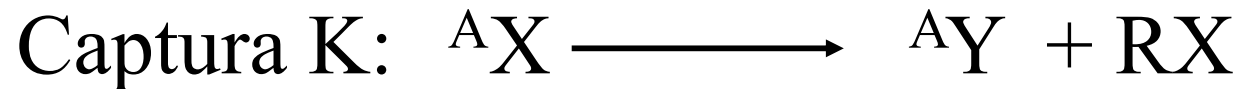
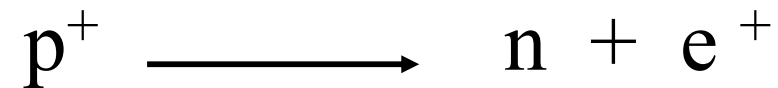
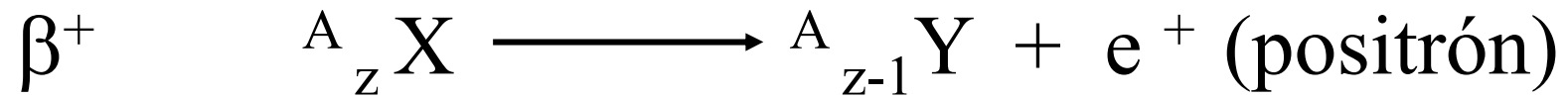
La tomografía por emisión de positrones o PET

(por las siglas en inglés de *Positron Emission Tomography*), es una técnica no invasiva de [diagnóstico](#) e investigación "in vivo" por imagen capaz de medir la actividad [metabólica](#) del cuerpo humano.

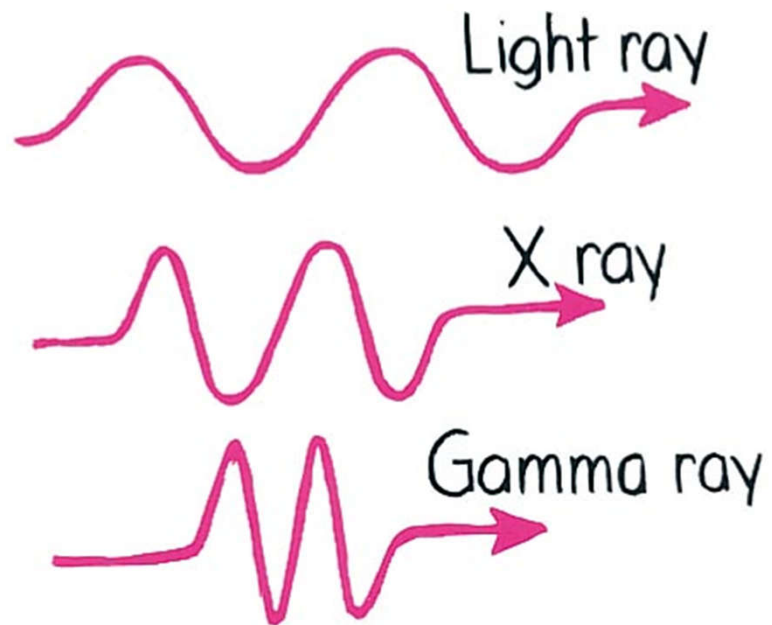
PET se basa en detectar y analizar la distribución tridimensional que adopta en el interior del cuerpo un radiofármaco de [vida media](#) ultracorta administrado a través de una [inyección intravenosa](#). Según qué se desee estudiar, se usan diferentes radiofármacos (^{18}F , $^{99\text{m}}\text{Tc}$...)

La imagen se obtiene gracias a que los [tomógrafos](#) son capaces de detectar los [fotones gamma](#) emitidos por el paciente.

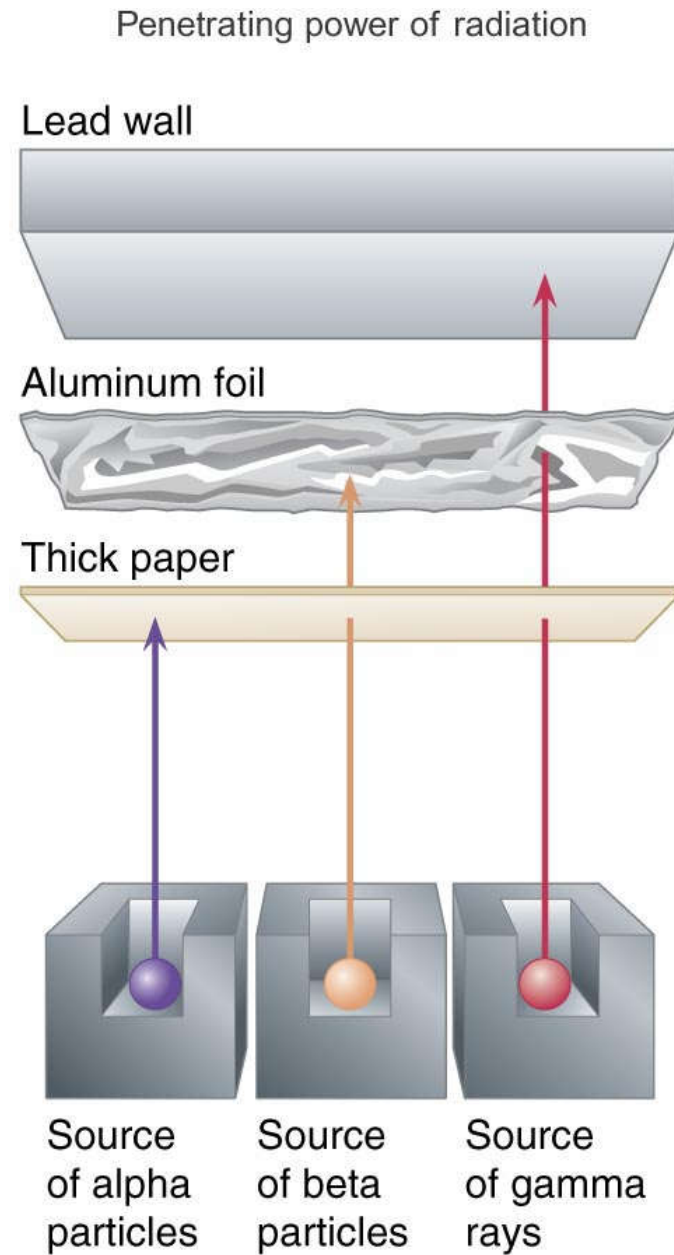
Estos fotones gamma de 511keV son el producto de una aniquilación entre un [positrón](#), emitido por el radiofármaco, y un [electrón cortical](#) del cuerpo del paciente. Para que estos fotones acaben por conformar la imagen deben detectarse "en coincidencia", es decir, al mismo tiempo; en una ventana de tiempo adecuada (nanosegundos), además deben provenir de la misma dirección y sentidos opuestos, pero además su [energía](#) debe superar un umbral mínimo que certifique que no ha sufrido dispersiones energéticas de importancia en su trayecto (fenómeno de scatter) hasta los [detectores](#). Los detectores de un tomógrafo PET están dispuestos en anillo alrededor del paciente, y gracias a que detectan en coincidencia a los fotones generados en cada aniquilación conformarán la imagen. Para la obtención de la imagen estos fotones detectados son convertidos en señales eléctricas. Esta información posteriormente se somete a procesos de filtrado y reconstrucción, gracias a los cuales se obtiene la imagen.



Penetrabilidad

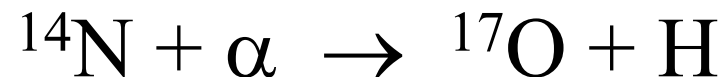


Copyright © 2007 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Addison-Wesley.



Transmutaciones nucleares

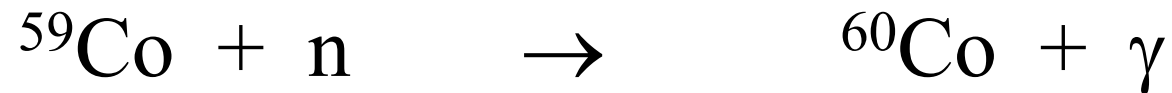
- En 1902 Rutherford propuso que las emisiones radiactivas eran el resultado de la transformación de un elemento en otro.
- Esta idea fue inicialmente recibida como ridícula y poco creíble ya que sonaba como la resurrección de la Alquimia.
- En 1915 produjo:



Radiactividad Artificial

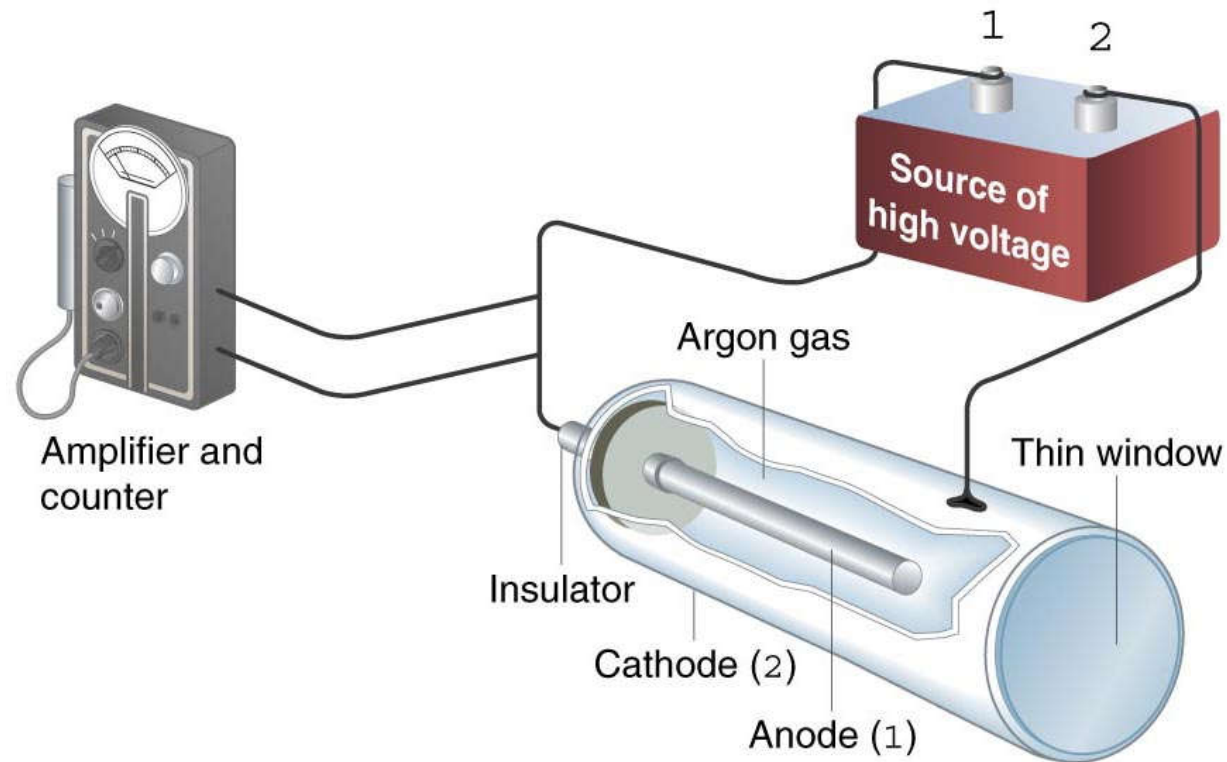
Las emisiones pueden ser inducidas bombardeando un núcleo con una partícula o núcleo livianos, en este caso el proceso es artificial.

por ejemplo en la fabricación del Co-60



Medida de la actividad

Diagram of Geiger counter



a.

¿Cuánto tarda una muestra en desaparecer?

La cinética es de primer orden.

$N =$	<i>número de núcleos</i>
$t = 0$	<i>tiempo inicial</i>
$-\frac{dN}{dt} =$	<i>velocidad de desintegración</i>

$$-\frac{dN}{dt} = k N \quad \text{es una ecuación diferencial} \quad \Rightarrow \quad \frac{dN}{N} = -k dt$$

$$\text{integrando entre: } \begin{array}{ll} t = 0 & N = N_0 \\ t = t & N = N_t \end{array}$$

$$\int_{N_0}^{N_t} \frac{dN}{N} = - \int_0^t k dt \quad \Rightarrow \quad \ln N = \ln N_0 - kt$$

$$N = N_0 e^{-k t}$$

Hay un parámetro más sencillo de medir (Geiger):
Actividad

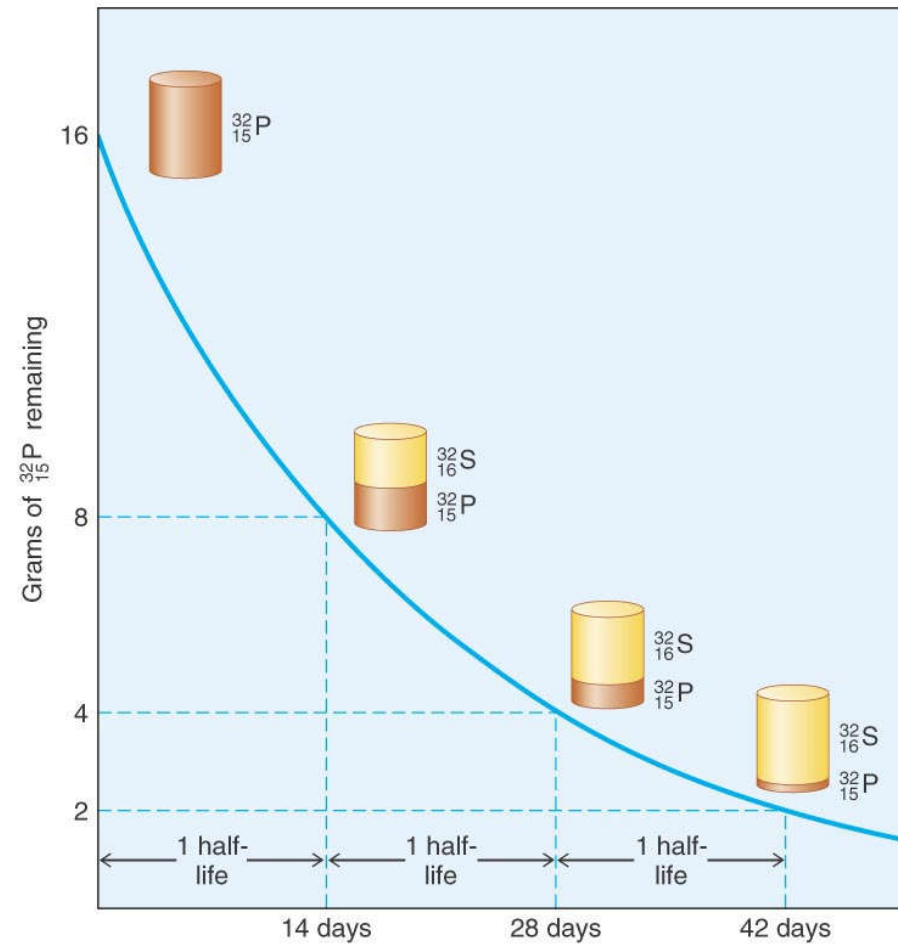
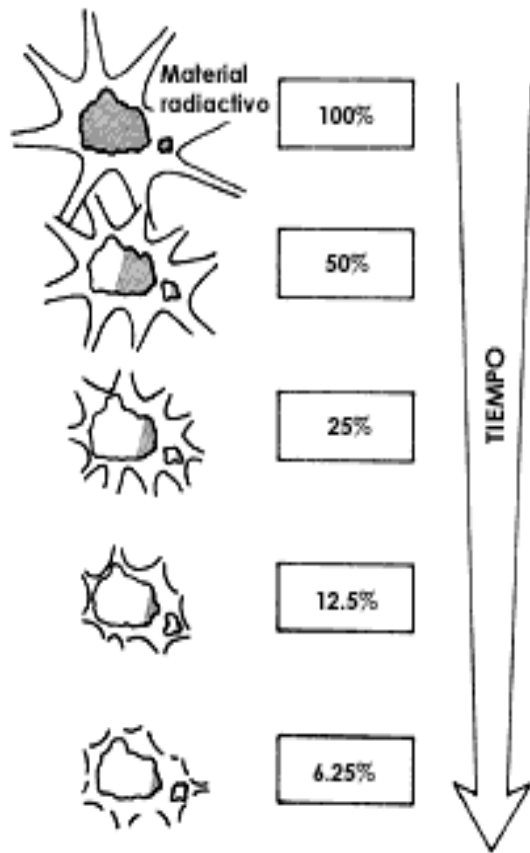
$$A = k \cdot N \Rightarrow A = A_0 e^{-k t}$$

La actividad de una muestra es el número de emisiones por unidad de tiempo (cpm)

Unidades: 1 Ci (curie) = $3,7 \times 10^{10}$ desint./seg
1 Bk = 1 desint./seg

Tiempo de semidesintegración

Decaimiento del ^{32}P



Si ahora $t = t_{1/2}$ entonces $N = N_0 / 2$

$$\ln \frac{N_0}{2} = \ln N_0 - k t_{1/2}$$

$$t_{1/2} = \ln 2 / k$$

Tiempo de semidesintegración

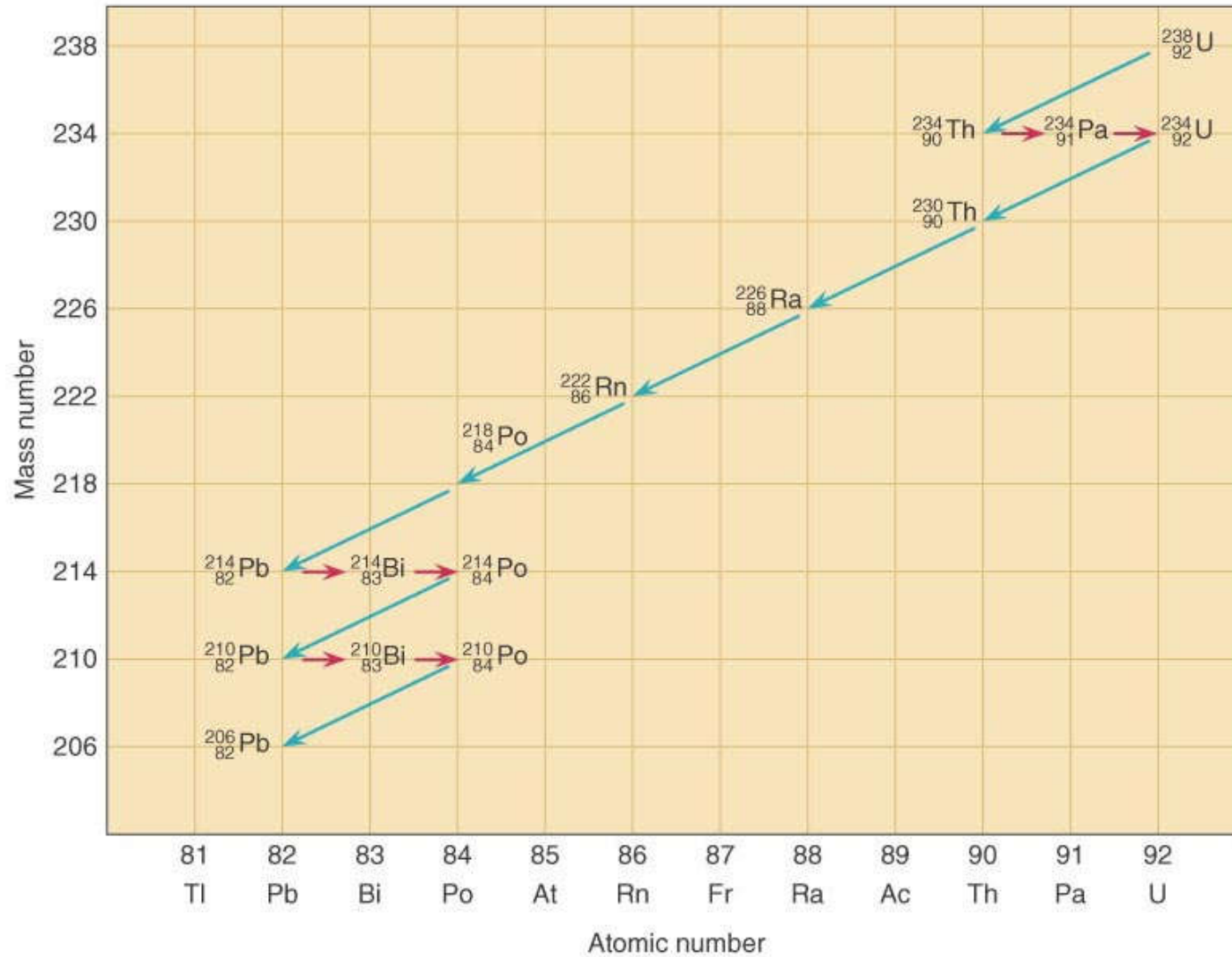
Es el tiempo necesario para
Reducir una cierta cantidad
del núclido a la mitad

Table 5.3 Half-lives of Some Radioactive Isotopes

Radioactive Isotope	Half-life
Oxygen-13	8.7×10^{-3} seconds
Bromine-80	17.6 minutes
Iodine-132	2.4 hours
Technetium-99	6.0 hours
Radon-222	3.8 days
Barium-140	12.8 days
Hydrogen-3 (tritium)	12.3 years
Strontium-90	28.1 years
Radium-226	1620 years
Carbon-14	5730 years
Plutonium-239	24,400 years
Beryllium-10	4.5 million years
Potassium-40	1.3 billion years
Uranium-238	4.5 billion years

Series radiactivas naturales

Uranium decay series (graph)



Determinar la edad de la tierra

- U-238 presente en ciertos minerales decae lentamente en Pb-206
- A medida que pasa el tiempo el U-238 decrece y Pb-206 aumenta.
- Midiendo la relación Pb-206 / U-238 se puede determinar la edad del mineral
- Los minerales y rocas más antiguos se usan para determinar la edad mínima de la tierra
- De los datos obtenidos de rocas traídas de la Luna se estima un valor aún mejor. ¿Por qué?

¿Cómo se sabe la cantidad original de Pb-206?

- La relación $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ “natural” se determina en los meteoritos (no contienen U y si Pb = contenido original de Pb cuando se formó la tierra)

Daño biológico

- Rayos γ representan un gran riesgo recibidos externamente
- Partículas α también si son ingeridas
- Principales efectos:
 - ruptura de enlaces químicos
 - Daños en el ADN
 - Mutaciones
 - Cáncer
 - Formación de radicales libres
 - $\text{HO}^\bullet$ del agua
 - Supresión del sistema inmune



Efectos debido a la exposición

Table 5.4 Effects on Humans of Short-Term Whole-Body Exposure to Various Doses of Radiation

Dose (rem)	Effects
<50	Effects inconsistent and difficult to demonstrate.
50–250	Fatigue, nausea, decreased production of white cells and platelets in blood; increased probability of leukemia.
250–500	Same as for 50–250 rem, but more severe; vomiting, diarrhea, damage to intestinal lining; very susceptible to infections because of low white cell count; hemorrhaging because of impaired clotting mechanism; 50% die within months.
500–1000	Damage to cardiovascular system, intestinal tract, and brain; death within weeks.
1000–10,000	Same as for 500–1000 rem, but more severe; coma; death within hours at 10,000 rem.
100,000	Immediate death.

100 rem = 1 Sv

- Sieverts (Sv) and millisieverts (mSv).
 - (1 Sv = 1000 mSv)
- Promedio de exposición anual a la radiación de fondo

– Dieta	0.23 mSv
– Exámenes médicos	0.30 mSv
– Rayos cósmicos	0.39 mSv
– Tierra/edificios	0.46 mSv
– Radón	1.30 mSv
– TOTAL	2.68 mSv

• Vuelo Vancouver - Paris	0.1
• Radiografía	0.3
• Tripulación de vuelo (anual)	2
• Radiación de fondo (anual)	2.5
• Fluoroscopia gástrica	4
• Astronauta en el espacio 1 mes	15
• Recommended annual occupational limit	20
• Dosis promedio para los sobrevivientes de Hiroshima/Nagasaki	200
• 24000 evacuados Chernobyl	450
• Dosis necesaria para causar enfermedad aguda	~1000
• Niños a 9km de Chernobyl debido al ^{131}I	2500
• Dosis con 50% de probabilidad de muerte y	
• Síntomas agudos	>4500

todos valores en mSv

Table 5.5 Average Annual Exposure (1990) to Radiation for U. S. Residents

Source of Radiation	Dose (mrem)	Percent of Total Dose
Natural (100 mrem = 1 mSv)		
Radon gas	200 (2 mSv)	55
Cosmic rays	27 (0.27 mSv)	8
Terrestrial (radiation from rocks and soil other than radon)	28 (0.28 mSv)	8
Inside the body (naturally occurring radioisotopes in food and water)	39 (0.39 mSv)	11
Total natural	294 (2.94 mSv)	82
Artificial		
Medical		
X-rays	39 (0.39 mSv)	11
Nuclear medicine	14 (0.14 mSv)	4
Consumer products (building materials, water)	10 (0.10 mSv)	3
Other		
Occupational (underground miners, X-ray technicians, nuclear plant workers)	<1	<0.03
Nuclear fuel cycle	<1	<0.03
Fallout from nuclear weapons testing	<1	<0.03
Miscellaneous	<1	<0.03
Total artificial	64 (0.64 mSv)	18
Total natural plus artificial	358 (3.58 mSv)	100

Source: National Council on Radiation Protection and Measurement (NCRP87b), Washington DC: National Academy Press, 1990.

Aplicaciones en medicina

Table 5.6 Applications of Radioisotopes in Medicine

Radioisotope	Symbol	Radiation Emitted	Application
Carbon-11	$^{11}_6\text{C}$	Positron, gamma	Brain imaging
Chromium-51	$^{51}_{24}\text{Cr}$	Gamma	Determination of blood flow through heart and of lifetime of red blood cells
Cobalt-57	$^{57}_{27}\text{Co}$	Gamma	Detection of defects in uptake of vitamin B-12
Cobalt-60	$^{60}_{27}\text{Co}$	Beta, gamma	Treatment of cancer
Cesium-137	$^{137}_{55}\text{Cs}$	Gamma	Treatment of cancer
Gadolinium-153	$^{153}_{64}\text{Gd}$	Beta, gamma	Determination of bone density
Iodine-131	$^{131}_{53}\text{I}$	Beta, gamma	Determination of activity of thyroid gland; treatment of thyroid cancer
Iron-59	$^{59}_{26}\text{Fe}$	Beta	Assessment of iron metabolism in blood
Sodium-24	$^{24}_{11}\text{Na}$	Beta, gamma	Detection of constrictions and obstructions in the circulatory system
Technetium-99m*	$^{99\text{m}}_{43}\text{Tc}$	Gamma	Obtaining images of organs, e.g., heart, lungs, liver, kidney
Tritium	^3_1H	Beta	Determination of total body water

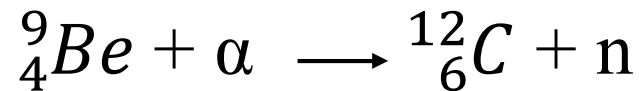
*Technetium-99m, with a half-life of about 6 hours, is one of the most useful radioisotopes in medicine. The m indicates that the isotope is metastable; by emitting gamma rays, it disintegrates to a more stable form of the same isotope, technetium-99.

James Chadwick(1891-1974)



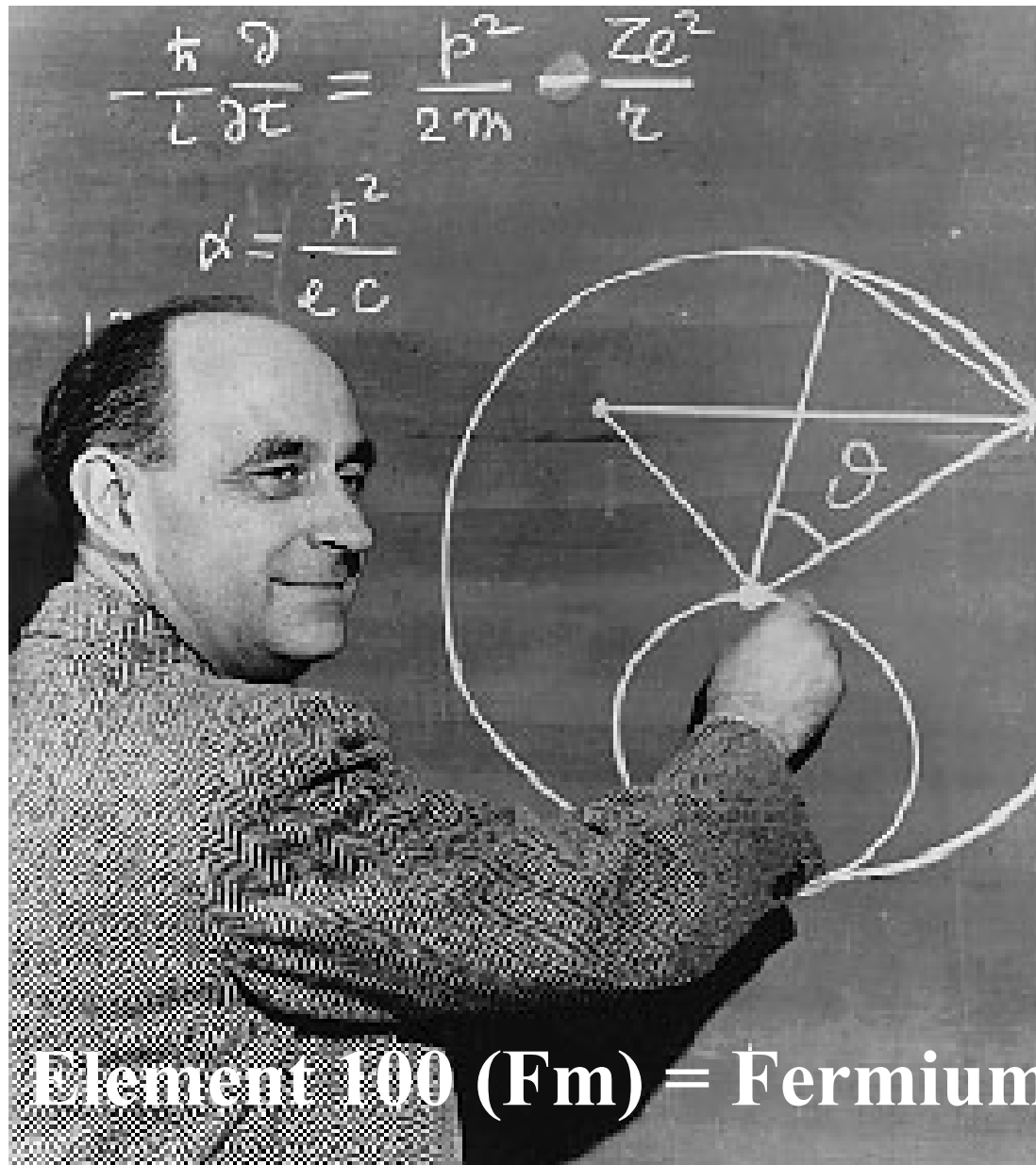
Bombardeo con neutrones

- James Chadwick descubrió el neutrón en 1932 por bombardeo del ${}^9\text{Be}$ con partículas alfa.



- Chadwick trató de penetrar el núcleo de los átomos
- Sin embargo los neutrones con que él trabajaba no penetraban en el núcleo
¿Por qué?

Enrico Fermi (1901-1954)



Element 100 (Fm) = Fermium

Bombardeo con neutrones

- En 1934 Enrico Fermi, resolvió el problema de porque los n no entraban al núcleo.
- Los neutrones eran MUY RÁPIDOS
- Usando agua de una laguna, Fermi pudo reducir la velocidad del haz de neutrones suficientemente como para entrar al núcleo.
- ...y entonces cambió para siempre la naturaleza del núcleo y... la historia!

Bombardeo con neutrones

- Enrico Fermi bombardeo U con neutrones LENTOS esperaba formar un nuevo elemento: $^{238}\text{U} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{239}\text{Np} + \text{e}$
- Pero el ^{239}Np no se formó !
- El análisis del U después del bombardeo reveló la presencia de pequeñas cantidades de los isótopos ^{92}Kr y ^{141}Ba . ¿Qué había pasado?

Lise Meitner



Element 109 (Mt) = Meitnerium

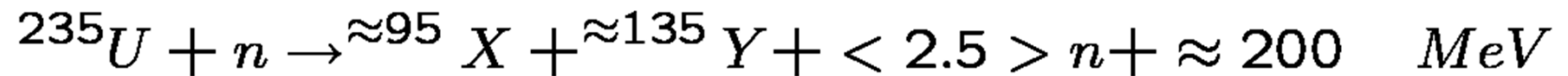
Fisión

En 1939 Lise Meitner una química Austríaca, judía y exiliada en Suecia interpretó físicamente el bombardeo de n.

Propuso que el Ba formado era el resultado de que los neutrones partían el U en dos fragmentos.

Ella propuso el término “**fisión**” para describir el fenómeno por su similaridad con el proceso de la formación de gotas debido a la tensión superficial.

Reacciones nucleares. Fusión y fisión



No todos los isótopos son fisibles
fácilmente.

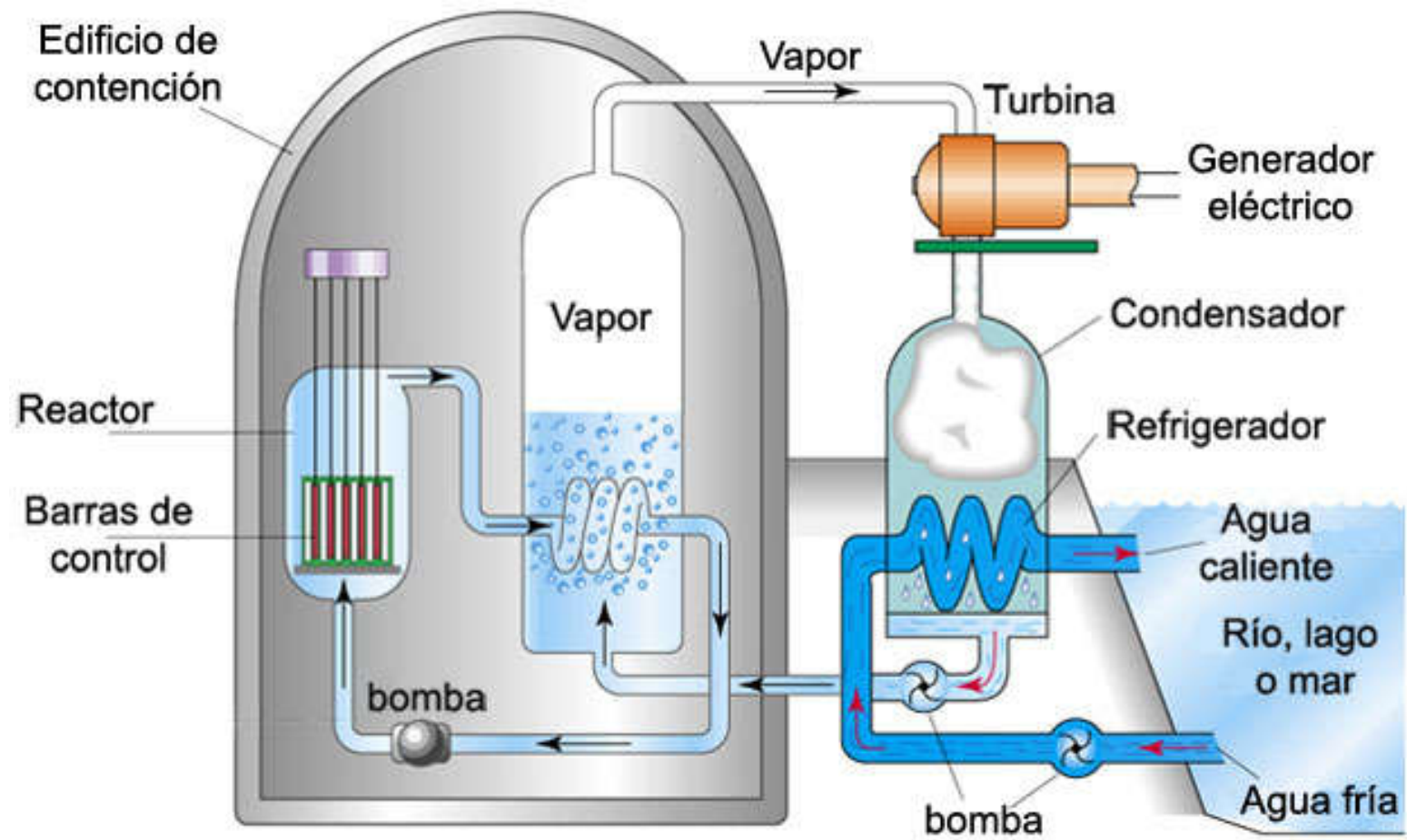
Fission



^{235}U



Reactor nuclear

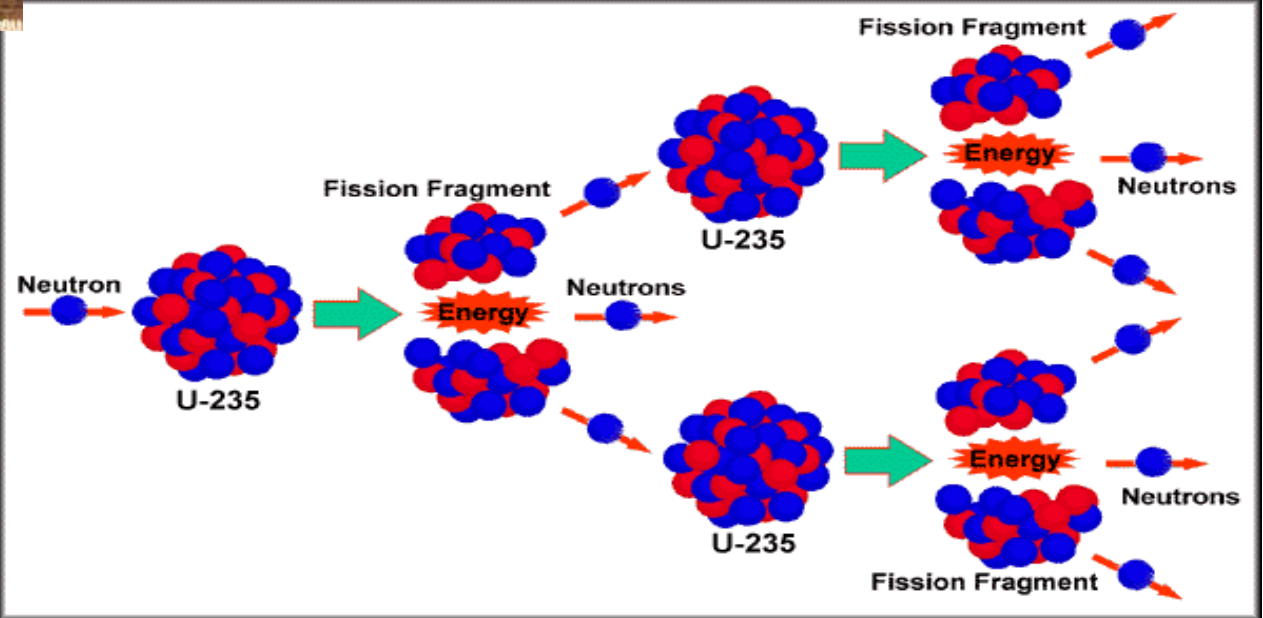




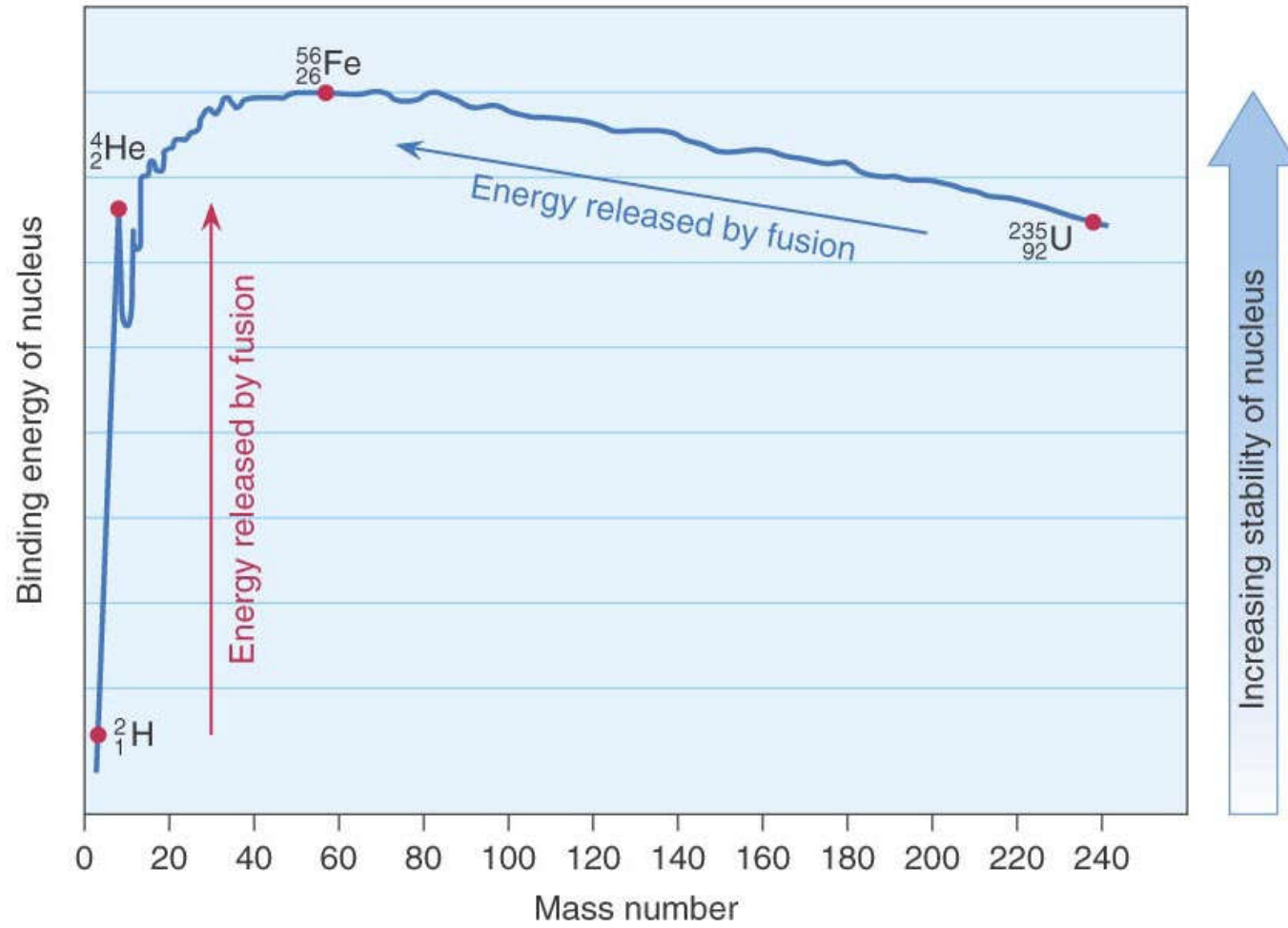
desmotivaciones.es

Tsutomu Yamaguchi

Ingeniero de profesión, se encontraba en Hiroshima de viaje de negocios el 6 de agosto de 1945. Aunque la explosión de la bomba nuclear se produjo a tres kilómetros de donde él se encontraba, resultó herido con quemaduras de gravedad en todo su cuerpo. Tres días después, cuando regresó a Nagasaki, su ciudad natal, revivió de nuevo la experiencia de una detonación nuclear.



Stability of nuclei



¿Cuánta energía se produce en un proceso de fisión?

En la región del Uranio la energía por nucleón es de unos 7.6 MeV, por tanto la energía de ligadura del ^{238}U es de 1808 MeV, si partimos el núcleo de uranio por la mitad, estos núcleos hijo se situarán en la región de 8.5 MeV por nucleón, por tanto la energía de ligadura de los núcleos hijo será de $8.5 \times 119 \times 2 = 2023$ MeV, se libera una energía en el proceso de 215 MeV. ¿esto es mucha energía?

Consideremos que fisiónamos por completo 1 gr de ^{238}U , la densidad del uranio es de 19.05 gr/cm³, por tanto en un gramo hay $19.05 \times 6.023 \times 10^{23} / 238 = 4.8 \times 10^{22}$ átomos

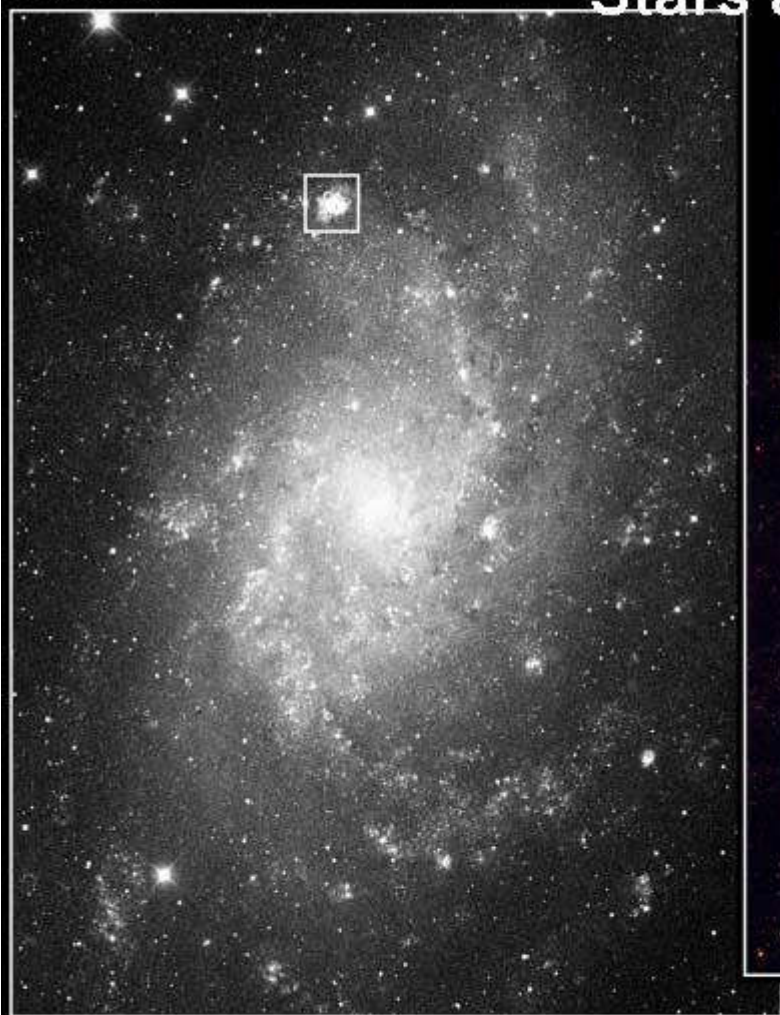
La energía total liberada será $4.8 \times 10^{22} \times 215 \text{ MeV} = 1.66 \times 10^{12} \text{ Julios}$

Eso equivale a la energía necesaria para elevar un metro de altura sobre el nivel del mar 1.66 Km³ de agua

La bomba de Hiroshima fisiónó aproximadamente un gramo de uranio!!!!

Palomar

Stars and Fusion



NGC 604 in Galaxy M33

PRC96-27 · ST ScI OPO · August 7, 1996 · Hui Yang (U.I.L) and NASA

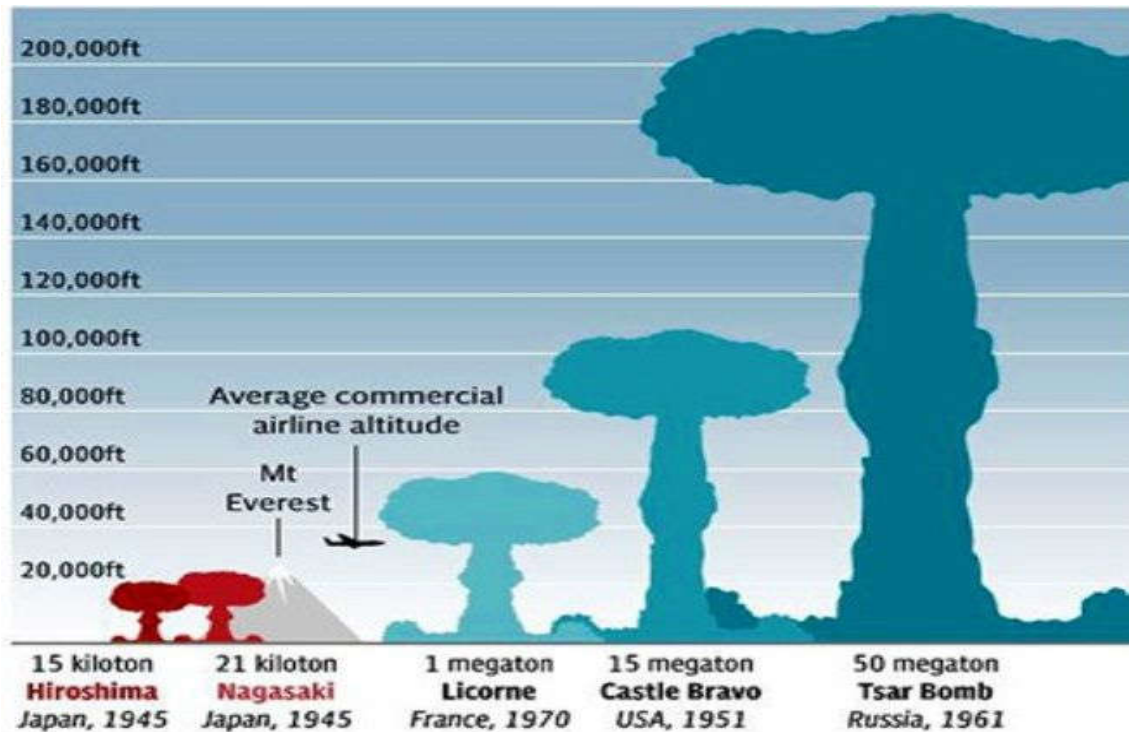
HST
HST · WFPC2

La fusión es el proceso contrario a la fisión y sucede con núcleos ligeros (bombas H)

Si fusionamos un gramo de hidrógeno para producir helio generamos una energía de $6.25 \cdot 10^9$ Julios frente a los $1.66 \cdot 10^{12}$ Julios del caso de uranio, pero sigue siendo una cantidad muy grande.

- Se necesitan temperaturas muy altas en el plasma (estrellas).
- Debemos confinar el plasma (campos magnéticos)
- No está disponible para producción de energía





¿Quién tiene la bomba?



- Puede producir armas termonucleares y admite tener un arsenal
- Solía tener armas nucleares, pero ha renunciado a ellas
- Ha hecho pruebas de armas nucleares, posiblemente incluyendo termonucleares
- No confirma ni niega tener un arsenal de armas nucleares

¿Qué temperatura se necesita?

Considerando un radio de 1.4 Fermis para el protón y que las fuerzas nucleares actúan cuando ambos protones están en contacto. La energía cinética mínima será $E_c =$ energía potencial de dos protones puntuales situados a una distancia de $2.8 \cdot 10^{-15}$ metros $= K_B T$, por tanto $T = 5.96 \cdot 10^9 \text{ K}$

