

Radiactividad

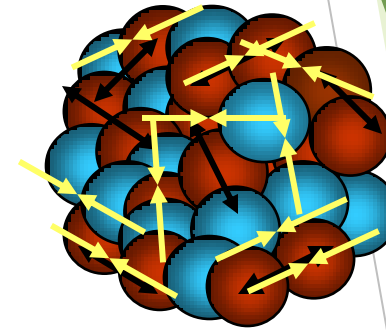
Fundamentos de Física

EL ÁTOMO: NÚCLEO

ESTABILIDAD NUCLEAR:

Compensación:

- * **FUERZAS REPULSIÓN** ++ (protones)
- * **FUERZAS NUCLEARES DE ATRACCIÓN**

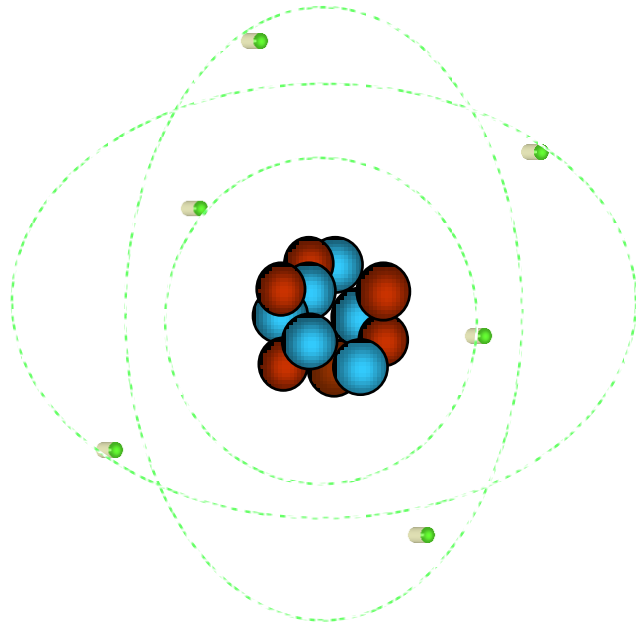


Los nucleones pueden existir en **diversos estados de energía** muy definidos. El estado que corresponde al nivel de energía más bajo es el estado **fundamental**

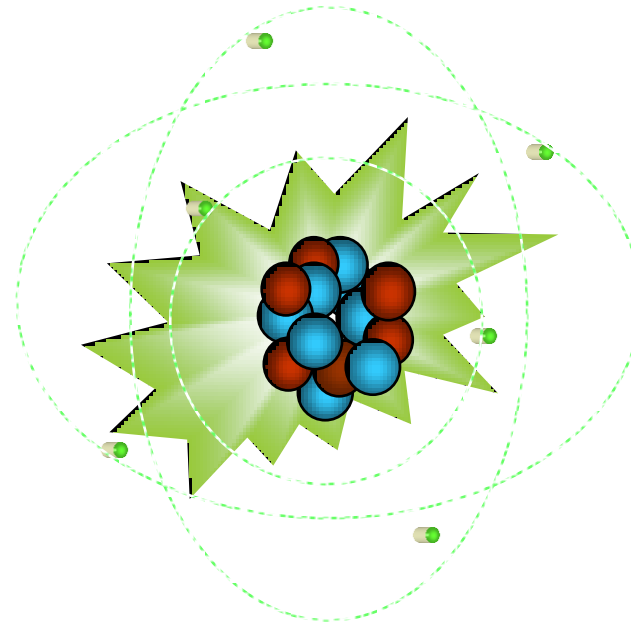
NÚCLEO INESTABLE: emite partículas o radiación para alcanzar la estabilidad: **RADIOACTIVIDAD.**

Depende: n° de nucleones y su estado de energía

EL ÁTOMO: ISÓTOPOS



CARBONO: $Z=6$; $A=12$



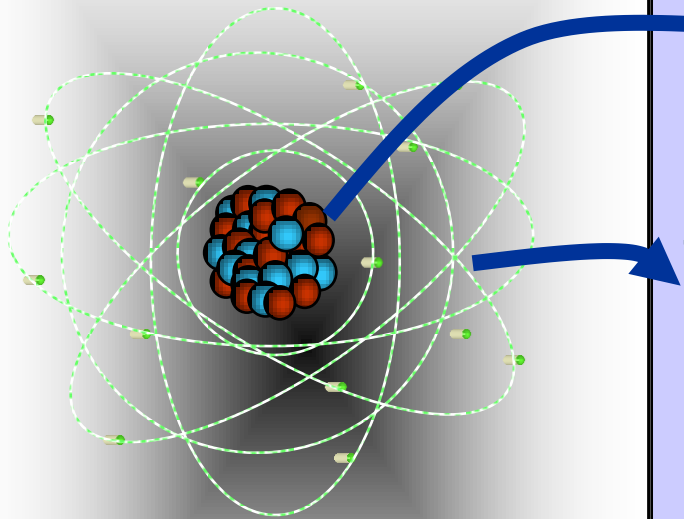
CARBONO: $Z=6$; $A=14$

ISÓTOPOS son aquellos átomos que perteneciendo al mismo elemento (**igual número atómico**) tienen distinto n^o de neutrones (diferente masa).

LA RADIACIÓN IONIZANTE: radiación que deposita energía en el medio provocando ionizaciones en los átomos del medio.

La radiación ionizante es capaz de arrancar electrones a los átomos.

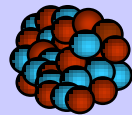
EL ÁTOMO



El átomo es la cantidad más pequeña de un **elemento** que conserva sus propiedades químicas.



EL NÚCLEO



NEUTRÓN (0)



PROTÓN (+) : $Z = n^{\circ}$ protones;
define el átomo

En el núcleo se concentra prácticamente toda la masa del átomo.

CORTEZA ELECTRÓNICA:



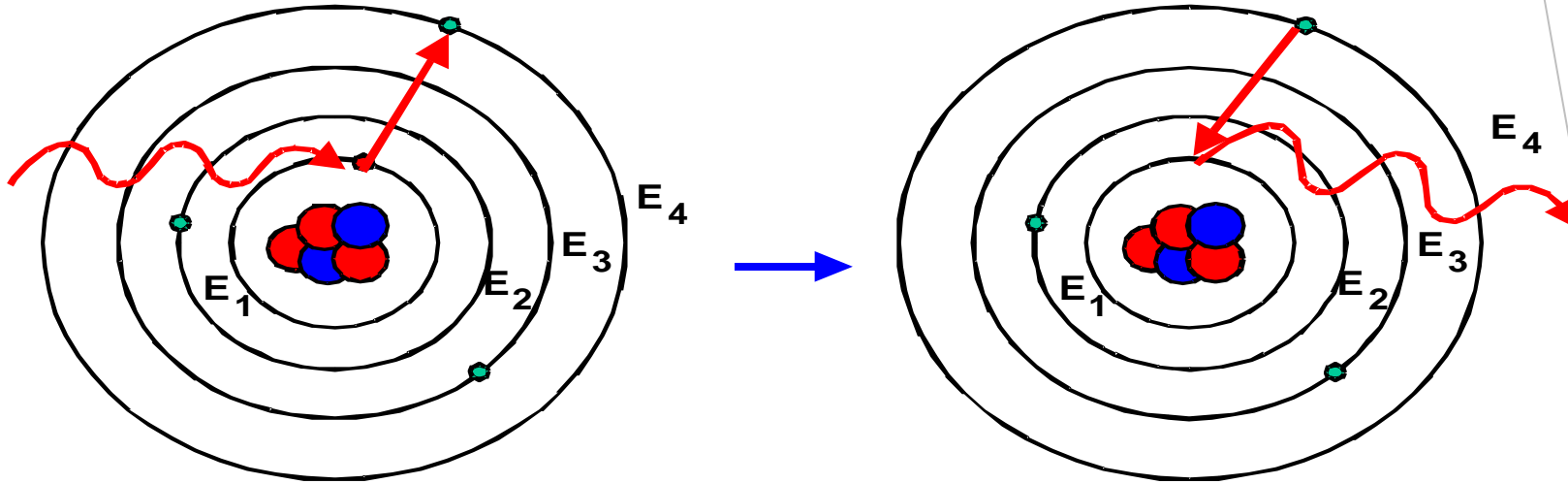
ELECTRÓN (-)

El electrón, 1836 veces más ligero que el protón o el neutrón, se encuentra alrededor del átomo en niveles de energía estacionarios.

En condiciones normales el átomo es eléctricamente neutro (n° protones= n° electrones) y los electrones están en los niveles energéticos posibles de menor energía.

¡¡IONIZACIÓN!! Proceso mediante el cual el átomo pierde electrones, adquiriendo carga eléctrica.

EL ÁTOMO: CORTEZA ELECTRÓNICA



EXCITACIÓN: Absorción de energía

$$E_4 - E_1 = h \nu$$

DESEXCITACIÓN: Emisión de energía

$$E_4 - E_1 = h \nu$$

Átomo excitado: el electrón está en niveles energéticos superiores

El átomo se **desexcitará** -un electrón de un nivel energético superior pasa a ocupar la vacante en el nivel energético inferior- **emitiendo un fotón de energía** igual a la diferencia de energía de los niveles inicial y final.

EL ÁTOMO: NÚCLEO

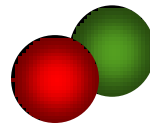
ENERGÍA DE ENLACE NUCLEAR:

La masa del núcleo atómico es **menor** que la suma de las masas de sus componentes (protones + neutrones): **defecto másico o energía de amarre**

Energía necesaria para **romper un núcleo** en sus componentes separadamente (**Z** protones y **N** neutrones):

¡¡La diferencia de masa se transforma en energía!!

Ej: Deuterio ${}^2\text{H}$



$$E = mc^2$$

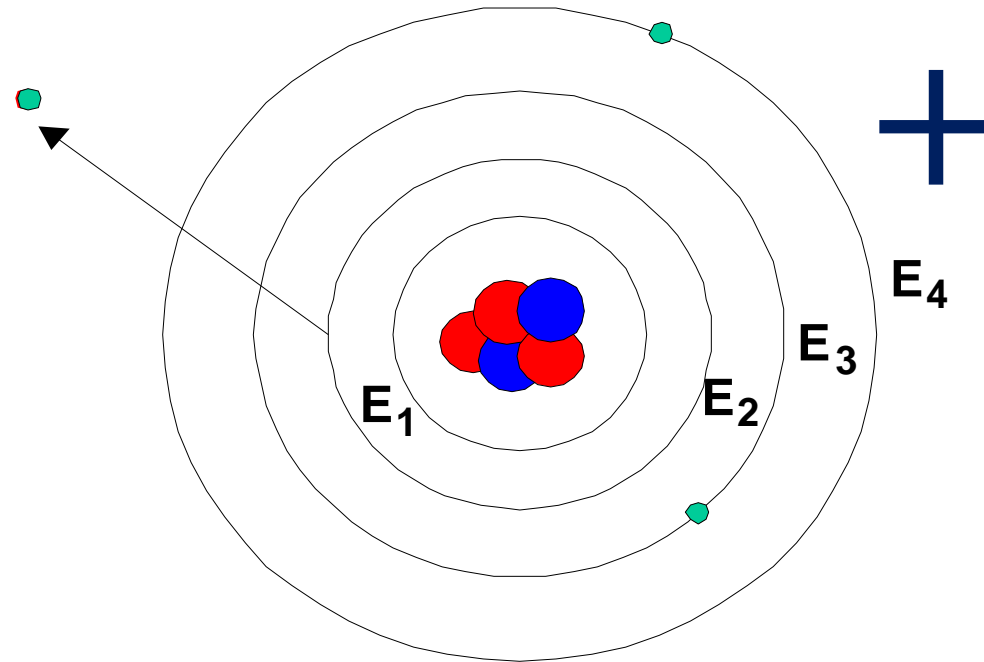
Masa_{núcleo}: 2,014102 u.a.m.

Masa_{protón}: 1,007277 u.a.m.;

Masa_{neutrón}: 1,008665 u.a.m.

$$\begin{aligned} & \text{Masa}_{\text{núcleo}} - (\text{Masa}_{\text{protón}} + \text{Masa}_{\text{neutrón}}) = \\ & 2,014102 - 2,016491 \text{ u.a.m.} = -0,002389 \text{ u.a.m.} = \mathbf{2,23 \text{ MeV}} \end{aligned}$$

EL ÁTOMO: CORTEZA ELECTRÓNICA



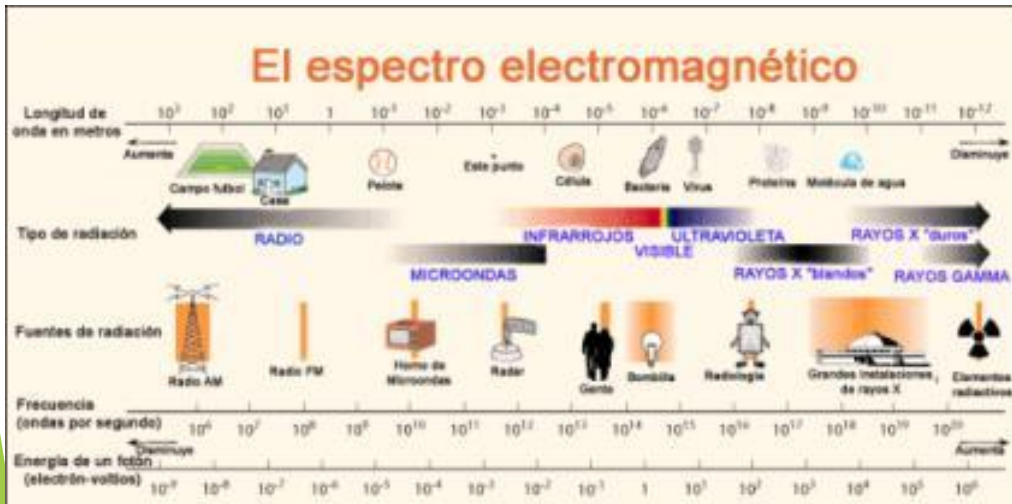
IONIZACIÓN: ÁTOMO IONIZADO

Átomo ionizado: un electrón adquiere energía suficiente (potencial de ionización) y se escapa del átomo. El **átomo** queda cargado **positivamente**.

RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA:

La **RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA** es un **transporte de energía** a través del espacio que puede ser interpretar de dos maneras (naturaleza dual):
1) como una **ONDA** combinación de un campo eléctrico y otro magnético
2) como pequeños paquetes (**FOTONES**) de energía, sin soporte material

A mayor energía de los fotones mayor frecuencia de la onda. Viajan a la velocidad de la luz-



Órdenes de magnitud de **la energía** que transportan los **fotones**:

Microondas: 0,0001-0,01 eV

Luz visible: 1 eV

Rayos X: 1.000-100.000 eV

Rayos gamma: 10.000-1.000.000 eV

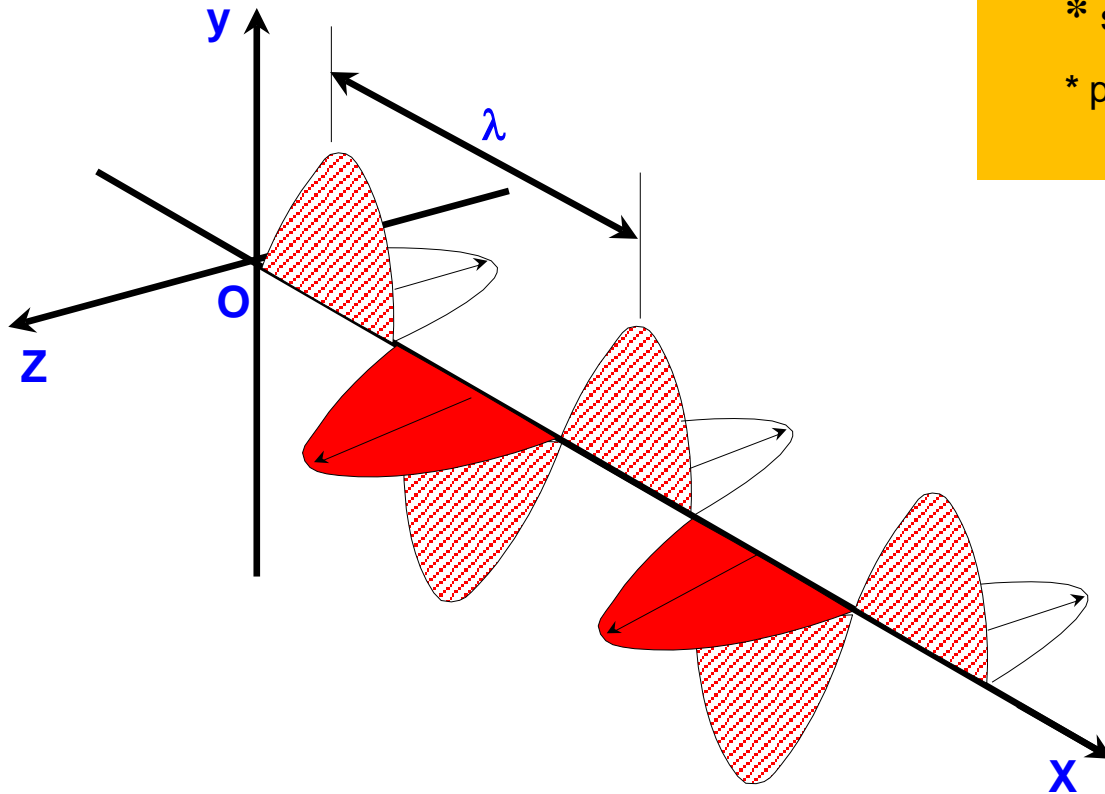
La radiación **X** y **gamma** posee suficiente energía como para **“arrancar” electrones** a los átomos del medio de forma significativa: **radiaciones ionizantes**

LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Dos campos: **eléctrico** y **magnético**

* se engendran secuencialmente por inducción

* planos de propagación perpendiculares.



$$E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

La **velocidad de propagación en el vacío** de tales ondas, **c**, es una constante fundamental, cuyo valor es aproximadamente: **c = 3 x 10⁸ m/s**

LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

fotones o cuantos de radiación

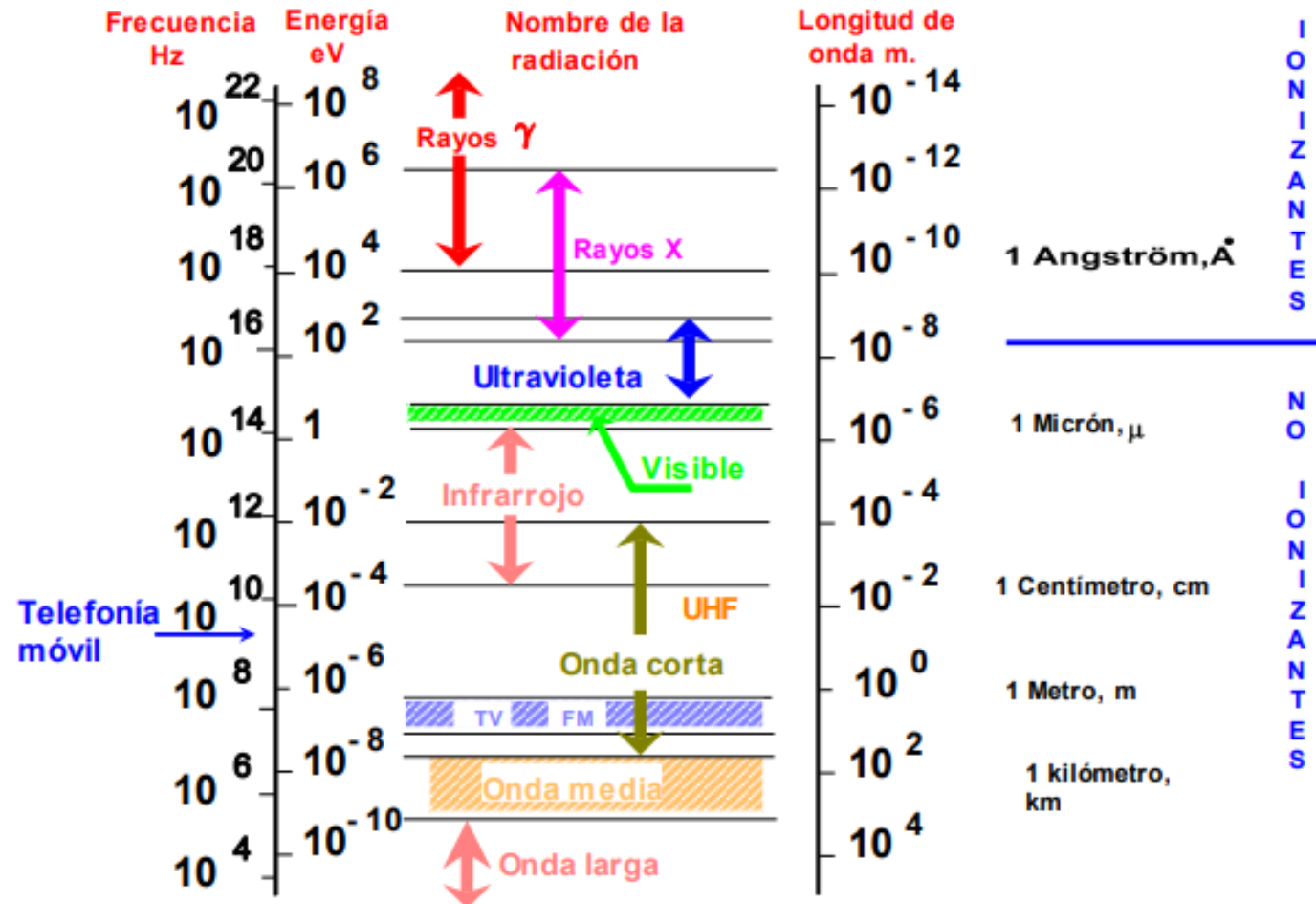
$$E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

La **energía** que transporta un fotón es **proporcional** a la **frecuencia** de la onda asociada.

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} = 4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$$

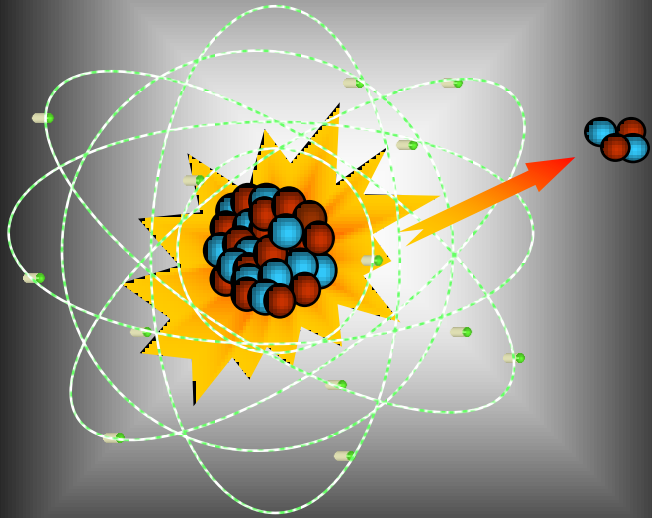


Radiación electromagnética



LA RADIACIÓN IONIZANTE PROVIENE

LA RADIOACTIVIDAD:



DE:

Radiación **alfa**, **beta** y **gamma**.

emisión de partículas o radiación electromagnética de alta energía debida a la inestabilidad de los núcleos atómicos.

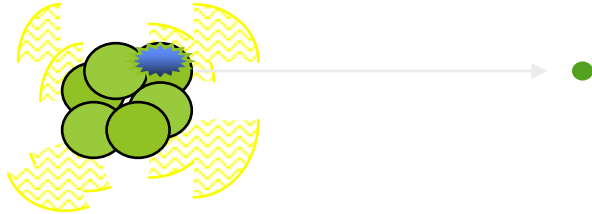
La radiación electromagnética de alta energía:
Rayos X y rayos gamma



RADIATIVIDAD Y REACCIONES NUCLEARES

Emisión espontánea de partículas o radiación por núcleos atómicos inestables. >> el núcleo se transforma dando lugar a otro núcleo estable o inestable.

UN NÚCLEO PUEDE SER INESTABLE POR:



desequilibrio entre sus
componentes
(PROTONES y NEUTRONES)



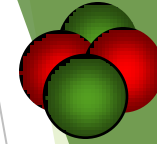
exceso de ENERGÍA

RADIATIVIDAD NATURAL: propia de los cuerpos tal y como aparecen en la naturaleza. Uranio (^{232}U), Carbono-14 (^{14}C), Potasio-40 (^{40}K)

RADIATIVIDAD ARTIFICIAL: núcleos que han alcanzado la inestabilidad mediante el bombardeo con partículas

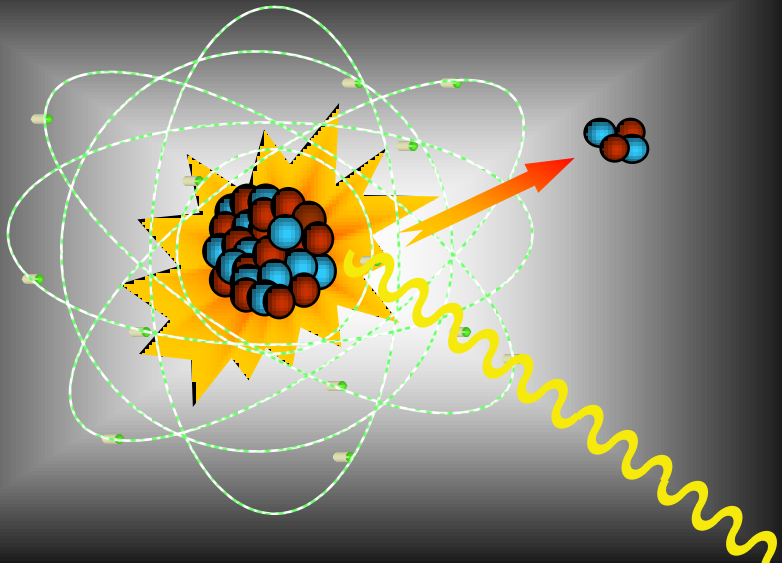
TIPOS DE DESINTEGRACIONES:

1) DESINTEGRACIÓN ALFA α : NÚCLEOS DE HELIO



POCO PENETRANTES: una hoja de papel o unos centímetros en aire la frenan

- Depositán toda su energía en un recorrido muy corto.
- Propias en la desintegración de núcleos pesados.
- Suelen ir acompañadas de desintegración gamma



^{235}U	(Uranio)
^{241}Am	(Americio)
^{226}Ra	(Radio)
^{222}Rn	(Radón)

TIPOS DE DESINTEGRACIONES:

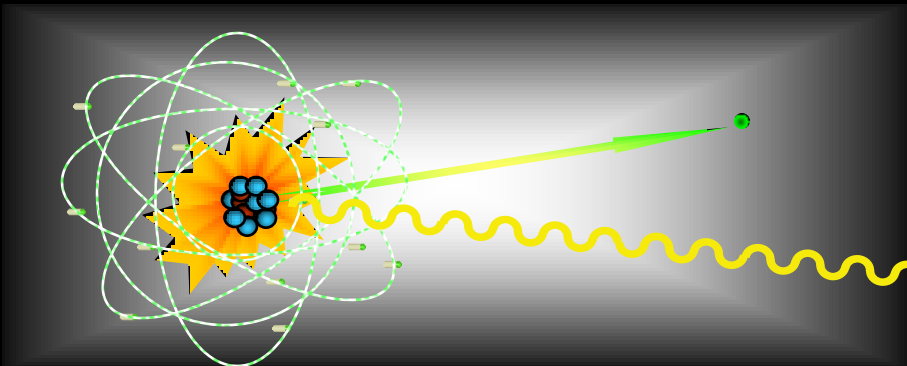
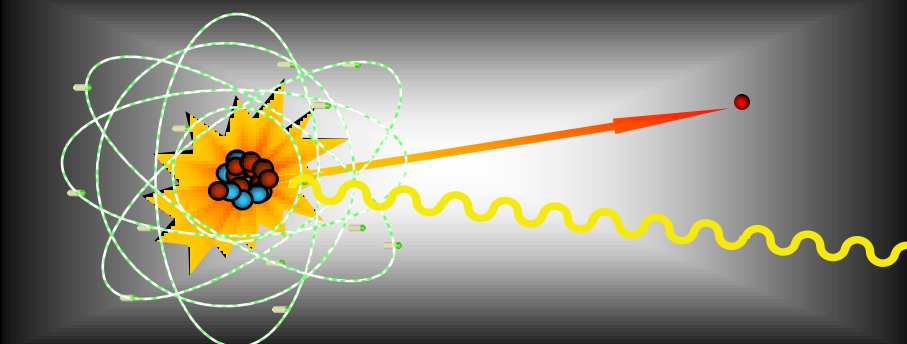
2) DESINTEGRACIÓN BETA

β^- : ELECTRONES 

β^+ : POSITRONES 

MÁS PENETRANTE: una lámina de aluminio o unos metros en aire la frenan

- Depositán su energía en un recorrido más largo.
- Se producen en núcleos con exceso de neutrones (β^-) o de protones (β^+)
- Suelen ir acompañadas de desintegración gamma

	^{137}Cs ^{60}Co ^{14}C ^{32}P ^3H	(Cesio) (Cobalto) (Carbono) (Fósforo) (Tritio)
	^{22}Na ^{11}C ^{15}O ^{13}N	(Sodio) (Carbono) (Oxígeno) (Nitrógeno)

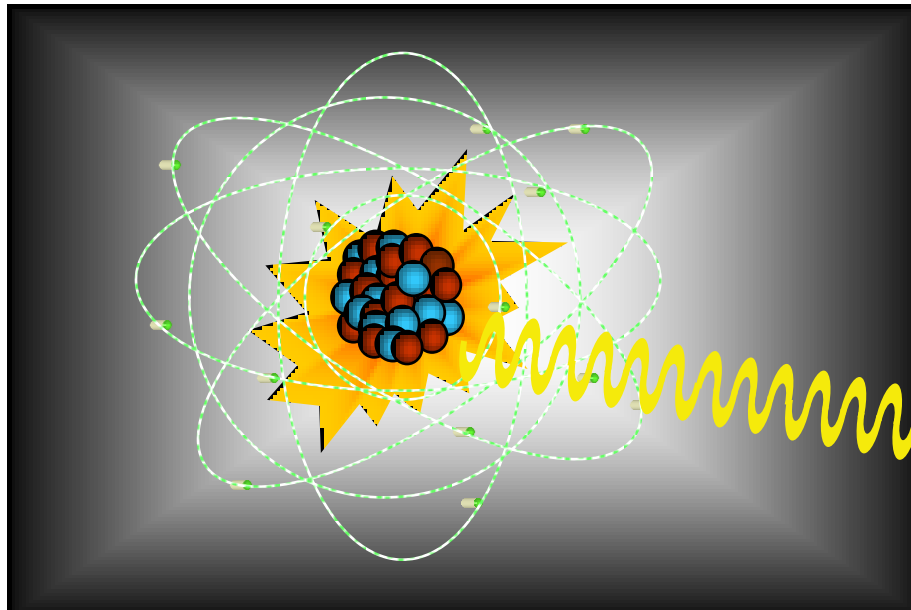
TIPOS DE DESINTEGRACIONES:

3) DESINTEGRACIÓN GAMMA ENERGÍA (ondas electromagnéticas)



MUY PENETRANTE : requiere materiales densos y pesados (una lámina de plomo, hormigón, etc.) para ser absorbidos.

Un núcleo con un exceso de energía puede de forma espontánea emitir radiación γ .

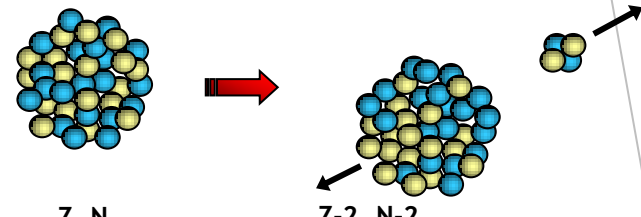
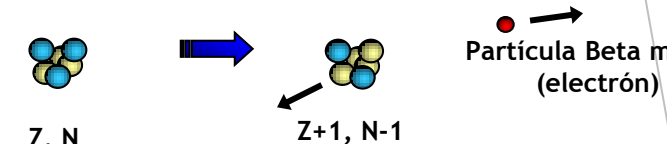
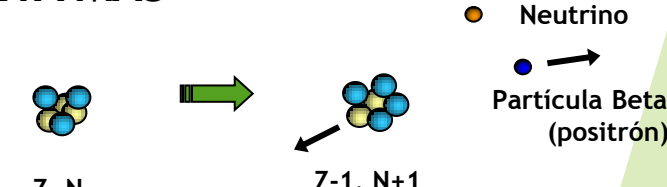
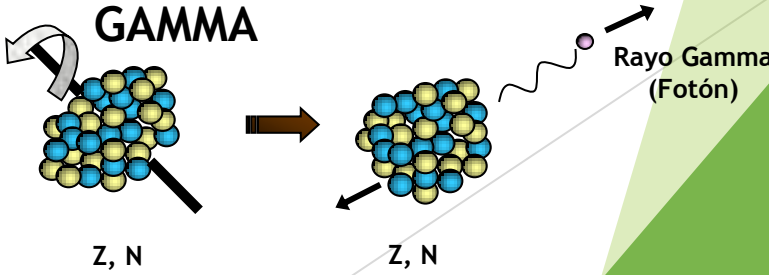


TIPOS DE RADIOACTIVIDAD

La radiactividad es un fenómeno natural que consiste en la emisión de partículas y radiaciones por parte de muchos isótopos.

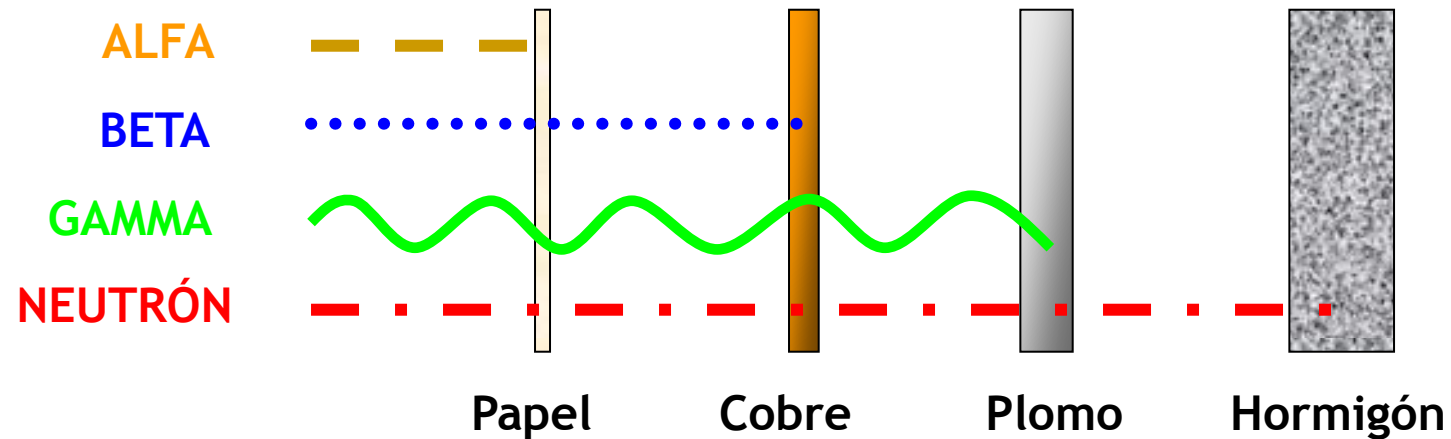
Son radiactivos aquellos isótopos que tienen un número muy elevado de protones y neutrones.

En la desintegración radiactiva se emiten partículas Alfa (núcleos de helio), Beta (electrones y positrones), Gamma (fotones), o incluso neutrones.

DESINTEGRACIÓN ALFA	<p>ALFA</p>  <p>Partícula Alfa</p> <p>Z, N $Z-2, N-2$</p>
DESINTEGRACIÓN BETA MENOS	<p>BETA MENOS</p>  <p>Antineutrino</p> <p>Partícula Beta menos (electrón)</p> <p>Z, N $Z+1, N-1$</p>
DESINTEGRACIÓN BETA MÁS	<p>BETA MÁS</p>  <p>Neutrino</p> <p>Partícula Beta más (positrón)</p> <p>Z, N $Z-1, N+1$</p>
DESINTEGRACIÓN GAMMA	<p>GAMMA</p>  <p>Rayo Gamma (Fotón)</p> <p>Z, N Z, N</p>

¿QUÉ SON CAPACES DE ATRAVESAR LAS RADIACIONES?

Las distintas radiaciones tienen **distinta capacidad de penetración** en los medios materiales debido a las fuerzas que intervienen en el proceso de frenado de las partículas y propiedades de las mismas partículas como masa, carga, ...



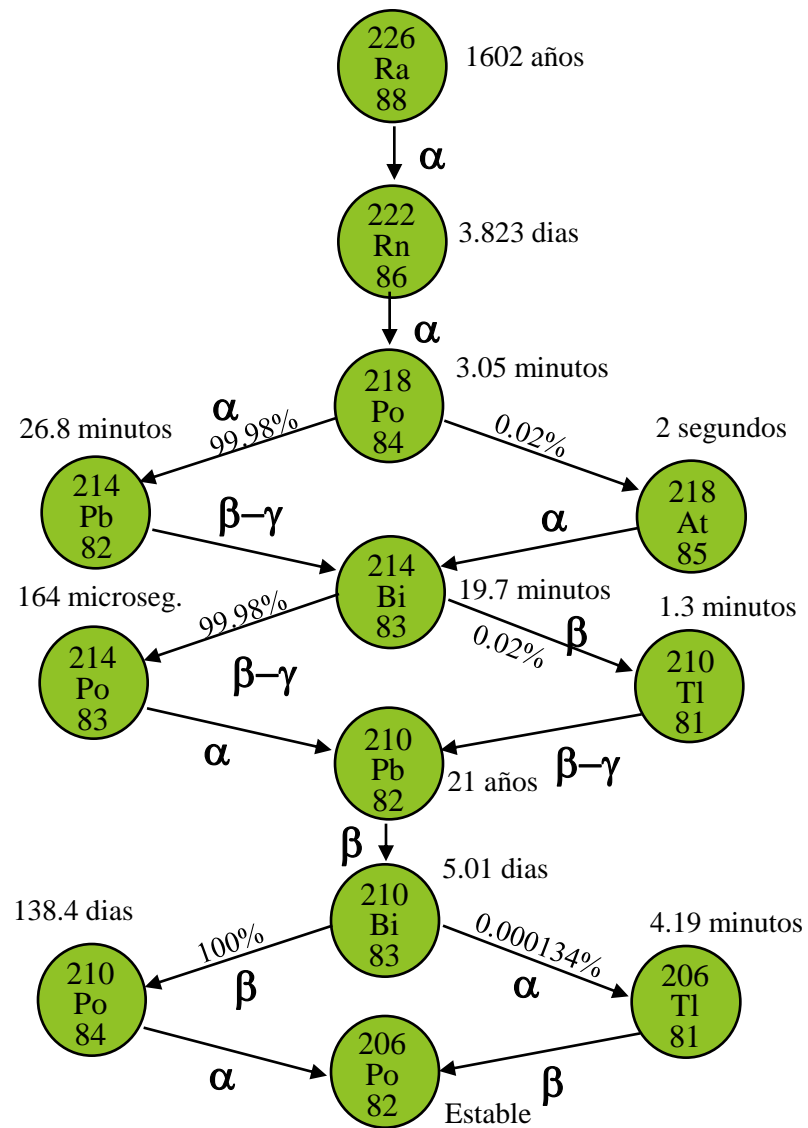
RADIATIVIDAD EN LA CORTEZA TERRESTRE

Los elementos radiactivos naturales se encuentran distribuidos de forma bastante uniforme en las rocas y suelos de la corteza terrestre, la cual está constituida principalmente por basalto y granito.

Principales isótopos radiactivos de la corteza terrestre

Núcleo	Vida Media*
Uranio-235	704 millones de años
Uranio-238	4,470 millones de años
Torio-232	14,100 millones de años
Radio-226	1,600 años
Radón-222	3.8 días
Potasio-40	1,280 millones de años

* La vida media nos indica el tiempo que debe transcurrir para que el número de núcleos radiactivos se reduzca al 37% de los iniciales.

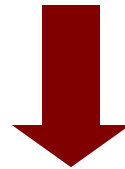


ORIGEN DE LOS RAYOS X:

- Cuando el **átomo** tiene **exceso de energía**, ésta se puede emitir por los **electrones de la corteza** en forma de radiación electromagnética. En ocasiones la energía emitida corresponde al espectro de los rayos X

(fotones de alta energía)

- Cuando los **electrones** que penetran en algún medio material **se frenan** (éste es el fundamento de los equipos de rayos X).



FUNDAMENTO DE LOS EQUIPOS DE RAYOS X

RADIATIVIDAD INTERNA

La radiación interna proviene de las sustancias radiactivas naturales presentes en los alimentos, en el agua y en el aire, las cuales, al ser ingeridas o inhaladas, se absorben en los tejidos vivos.

Los principales isótopos radiactivos que contiene el cuerpo humano son el potasio-40, el carbono-14 y el tritio (hidrógeno-3).

Radiactividad natural en la comida

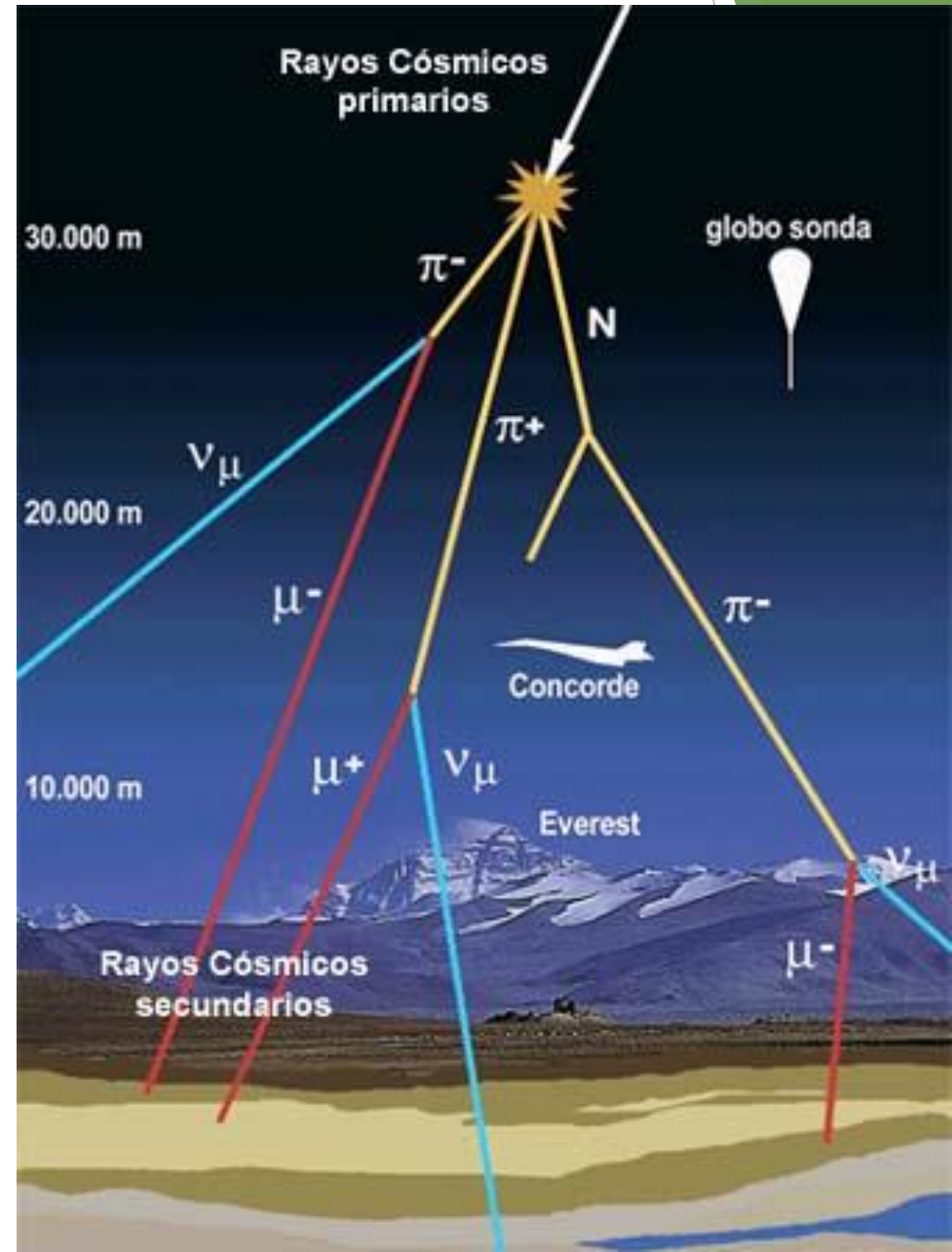
Comida	Potasio-40 Bq/kg*	Radio-226 Bq/kg*
Plátano	130	0.04
Nueces	207	37-259
Zanahorias	126	0.02-0.07
Patatas	126	0.04-0.9
Cerveza	14	---
Carne Roja	111	0.02
Limón	172	0.07-0.19
Agua	---	0-0.006

RAYOS CÓSMICOS

Los rayos cósmicos vienen del espacio con gran energía y dan lugar en la atmósfera a una cascada de partículas de lo más variado.

Colocando detectores en globos sonda, aviones o en altas montañas, se han realizado muchos descubrimientos, como el de la partícula μ (muón) y la antimateria (el positrón).

Pueden llegar a atravesar la tierra de lado a lado sin detenerse.

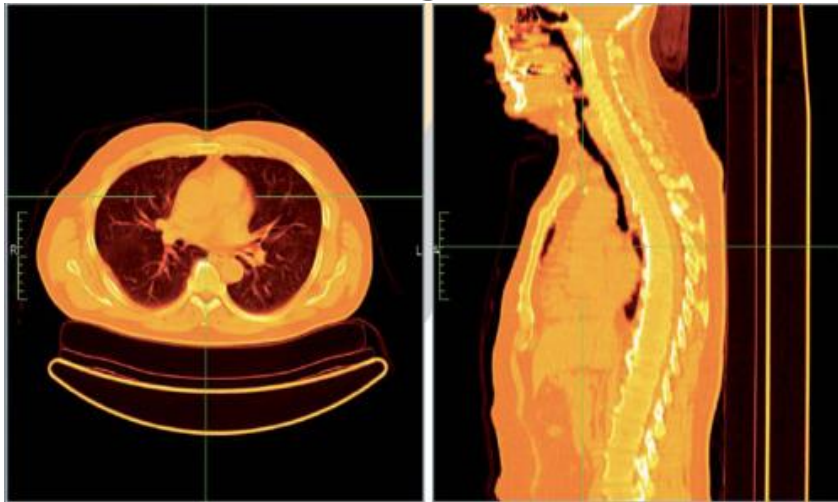


RADIACIONES EN MEDICINA



El uso de la radiactividad en el diagnóstico y el tratamiento de enfermedades es una herramienta básica en medicina. Con ella se realizan exploraciones del cerebro, los huesos y órganos internos, se trata el cáncer, se realizan estudios hormonales y análisis de sustancias que existen en nuestro organismo en cantidades ínfimas pero que son fundamentales para el metabolismo.

Radiodiagnóstico



Radiografía
Fluoroscopia
Tomografía axial computerizada (TAC)
Radiología intervencionista
Tomografía por emisión de positrones (PET)

Terapia



Braquiterapia
Radioterapia
Medicina nuclear y terapia metabólica
Radiocirugía

¿RADIATIVIDAD EN DIRECTO?

Nuestros sentidos no pueden detectar la radiactividad. Para ello los físicos diseñan y construyen dispositivos, son los

detectores de radiaciones o de partículas

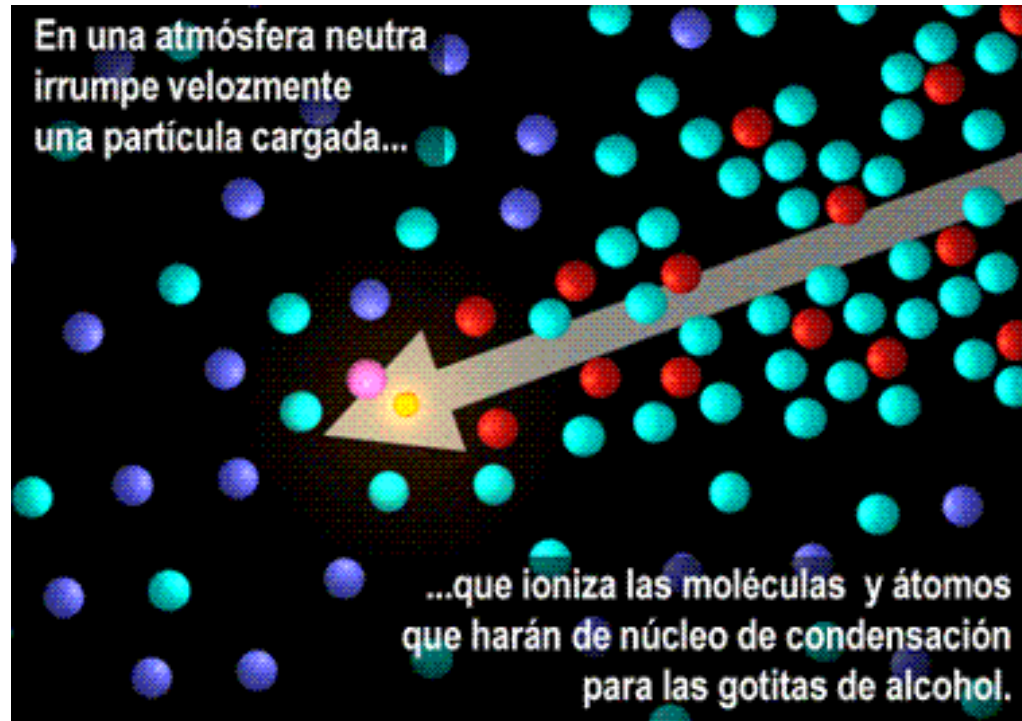
que permiten observarlas, medirlas o contarlas.

Uno de estos dispositivos más sencillos y a su vez más importantes en la historia de la física es la cámara de niebla.

Cámara de Niebla
del IFIC



¿CÓMO FUNCIONA UNA CÁMARA DE NIEBLA?

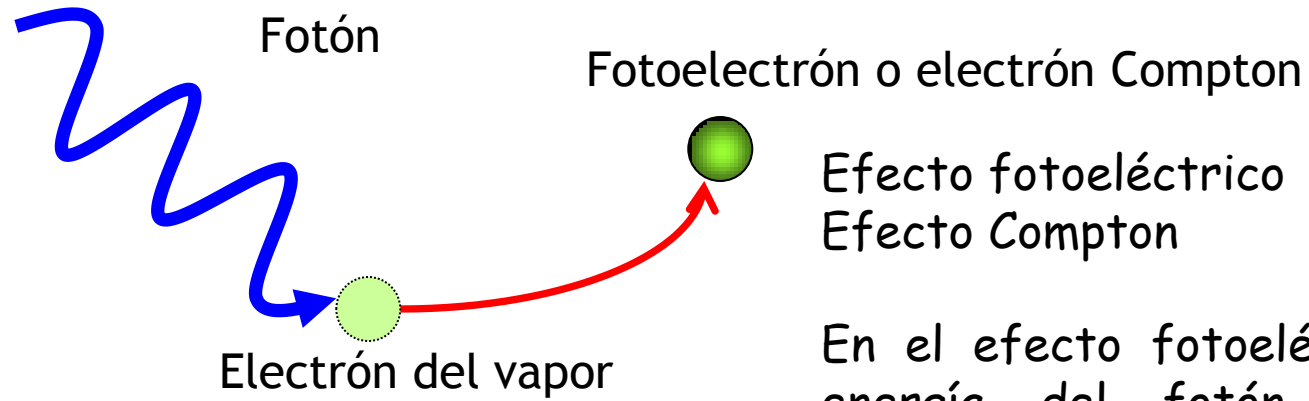


Su funcionamiento se basa en un vapor de un líquido volátil, normalmente alcohol, que se encuentra a una temperatura ligeramente inferior a la de condensación, es decir, a esa temperatura debería ser líquido (vapor sobresaturado).

Al pasar la radiación, ésta perturba el vapor (lo ioniza), y se producen gotitas condensadas.

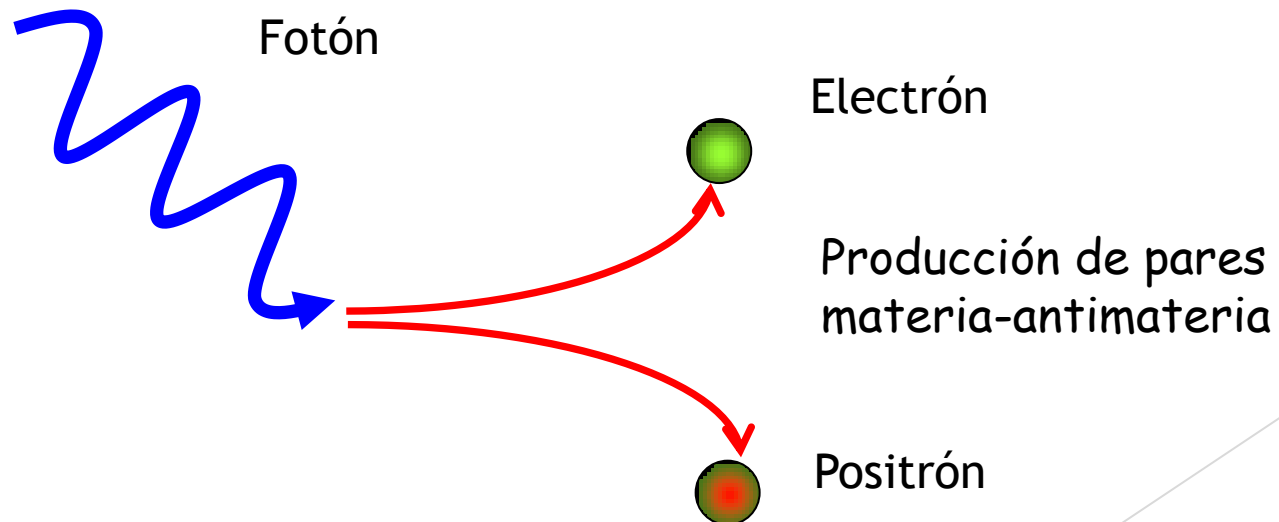
Es lo mismo que ocurre cuando se forma el rastro de condensación de un avión supersónico a su paso por las capas altas de la troposfera...

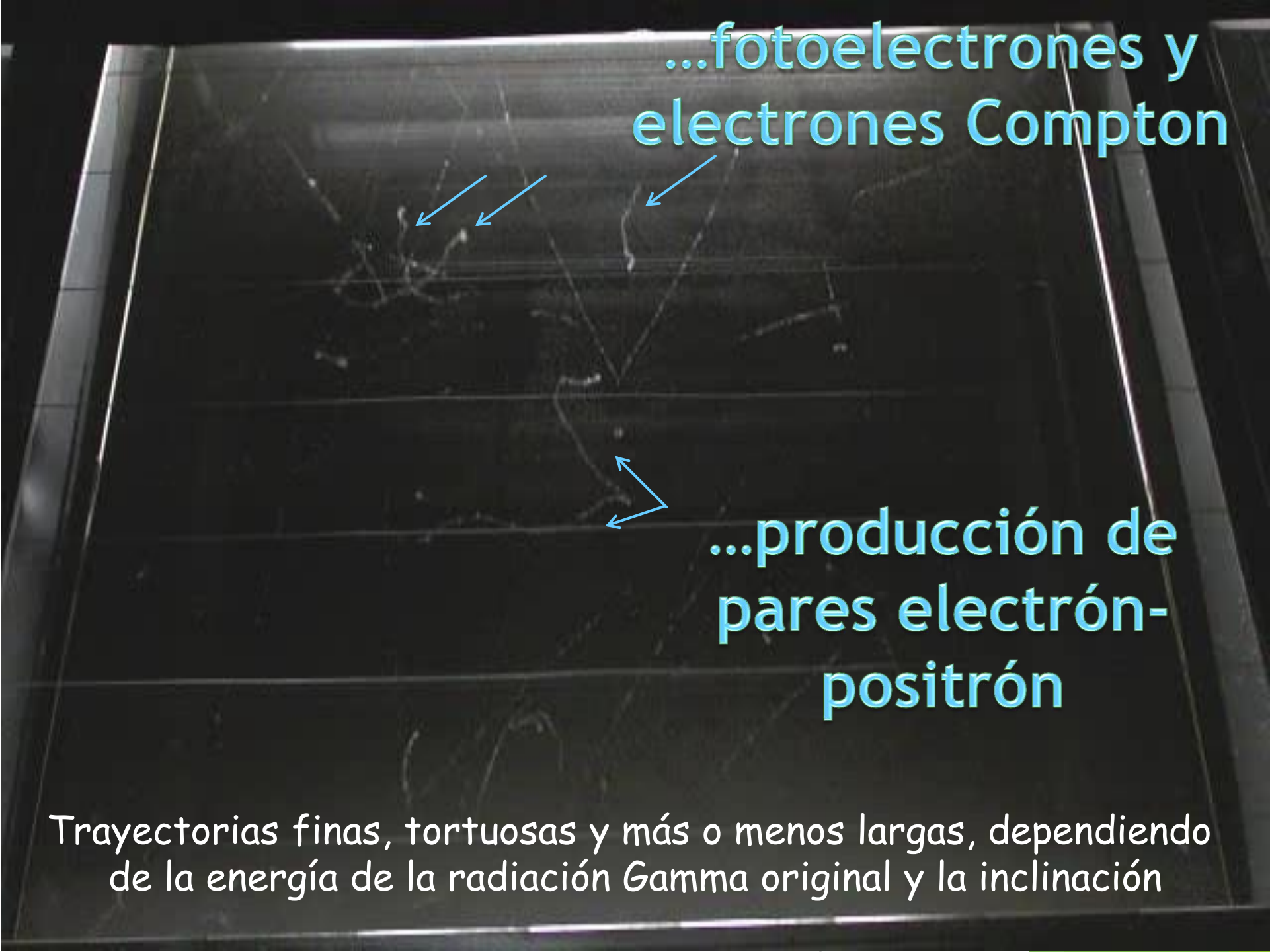
¿QUÉ VAMOS A VER EN LA CÁMARA DE NIEBLA DEL IFIC?



Efecto fotoeléctrico
Efecto Compton

En el efecto fotoeléctrico toda la energía del fotón se cede al electrón, mientras que en el efecto Compton solo parte de ella.



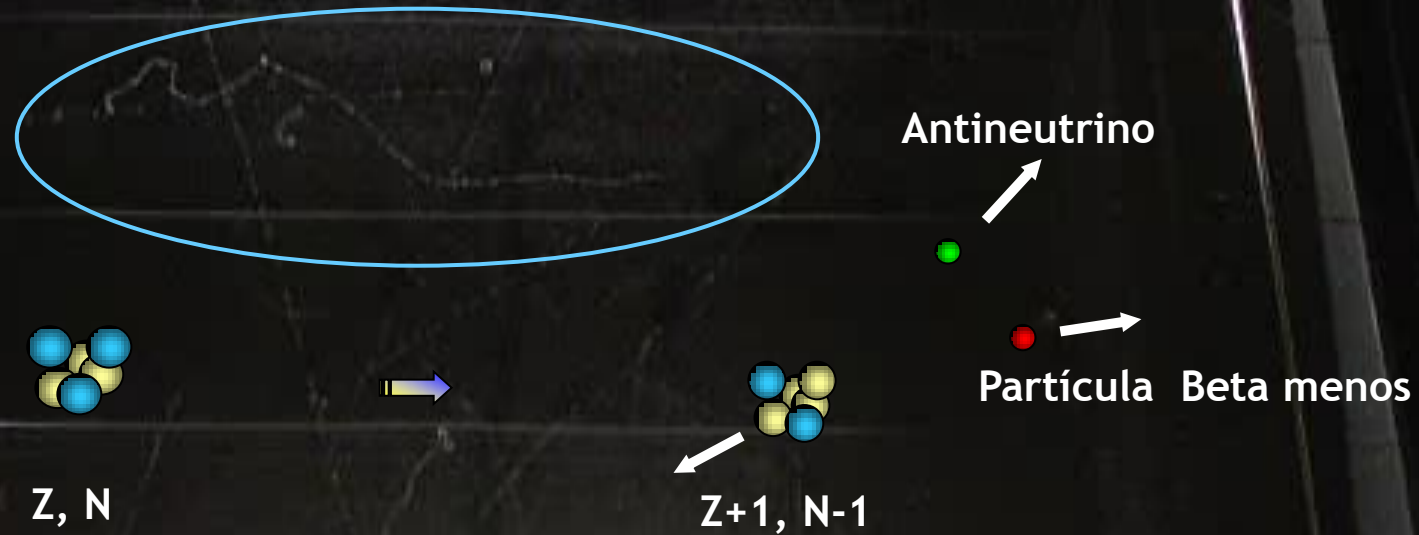


...fotoelectrones y
electrones Compton

...producción de
pares electrón-
positrón

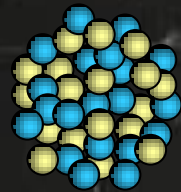
Trayectorias finas, tortuosas y más o menos largas, dependiendo de la energía de la radiación Gamma original y la inclinación

...partícula Beta (electrón o positrón)

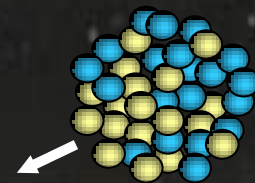


Trayectorias finas, tortuosas y más o menos largas, dependiendo de la energía de la partícula Beta y la inclinación

...partícula Alfa de la
cadena del radón



Z,N



Z-2,N-2

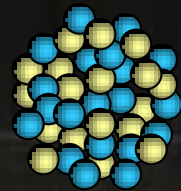


Partícula Alfa

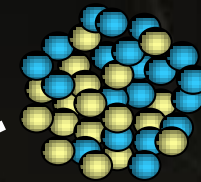
Trayectorias muy gruesas y rectilíneas de hasta
unos 6 cm ("GUSANOS"), dependiendo de la inclinación

...doble Alfa en cascada de la cadena del radón

Una partícula Beta



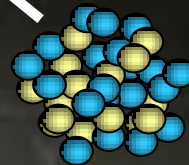
Radón-222



Polonio-218



Partícula Alfa

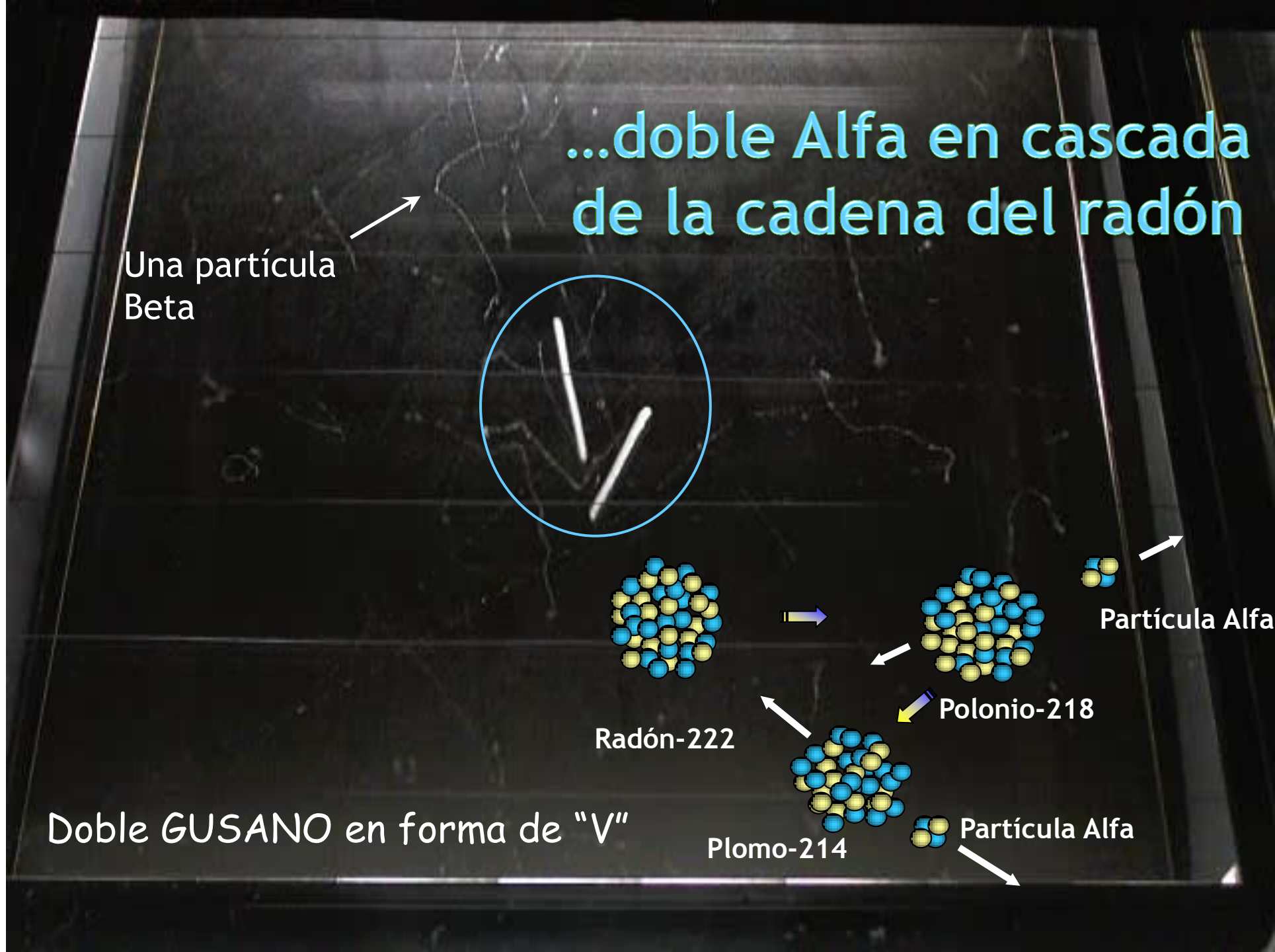


Plomo-214



Partícula Alfa

Doble GUSANO en forma de "V"

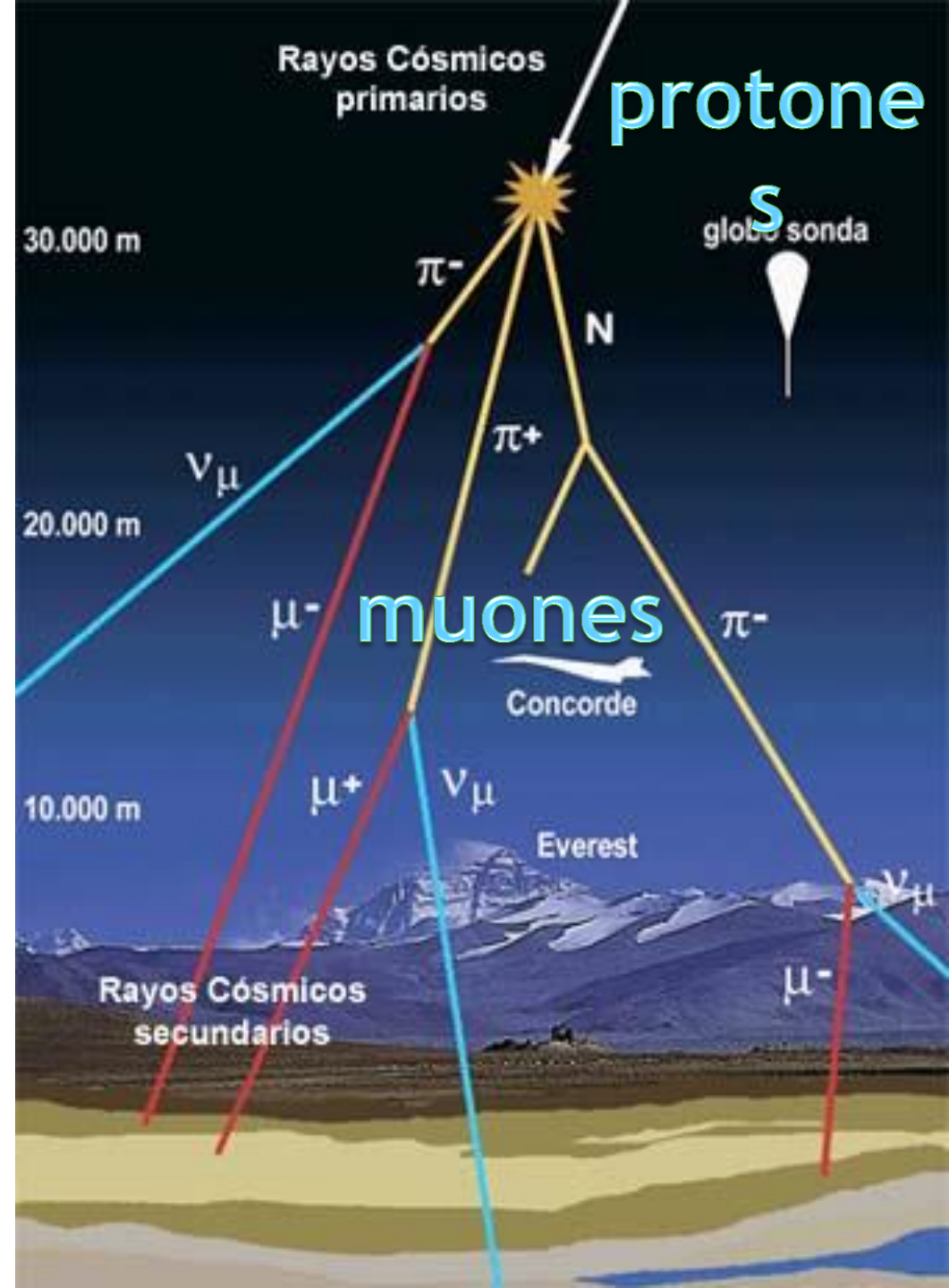




...o como esta otra
doble Alfa

Doble GUSANO en forma de "V"

...y también
veremos
protones y
muones
procedentes de
los rayos
cósmicos





...protón cósmico

Una partícula Alfa
procedente de la
cadena del radón

Trayectorias gruesas, rectilíneas y largas o muy largas,
dependiendo de la inclinación

...otro protón
cósmico

Una partícula
Alfa procedente
de la cadena del
radón

Trayectorias gruesas, rectilíneas y largas o muy largas,
dependiendo de la inclinación

...muón cósmico

Partículas Beta



Trayectorias delgadas, rectilíneas y largas o muy largas,
dependiendo de la inclinación

...aunque más
difícil de ver,
un muón
cósmico
“radiactivo”,

transmutándose
e en un
electrón



Trayectorias rectilíneas, largas y delgadas, menos
intensa para el caso del electrón

Secuencia repetida de fotogramas desde que se produce hasta que desaparece



ACTIVIDAD:

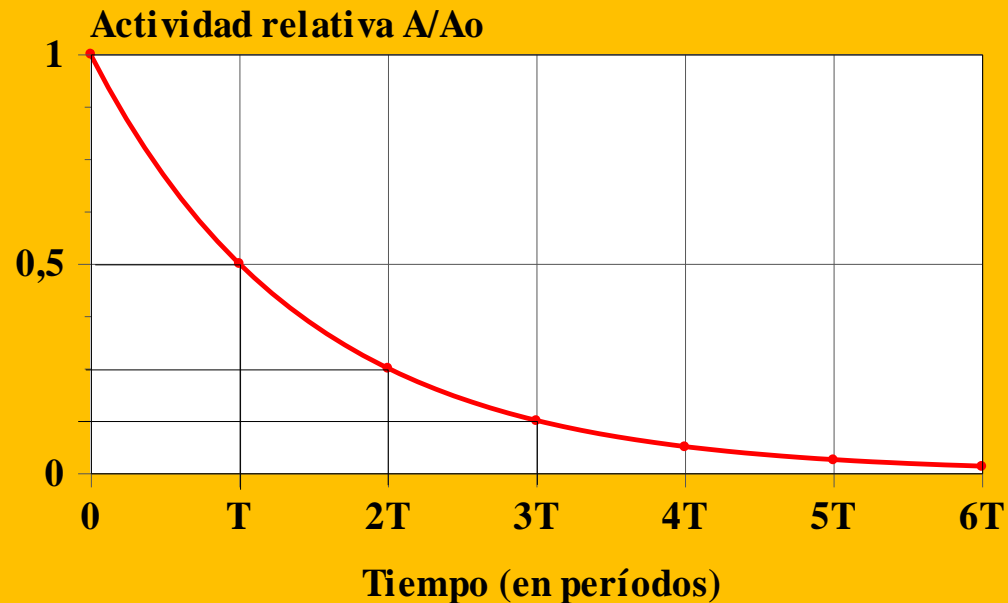
nº de transformaciones nucleares por unidad de tiempo
(**Bequerelio=Bq**= nº transformaciones/s)

$$A = N \times \lambda$$

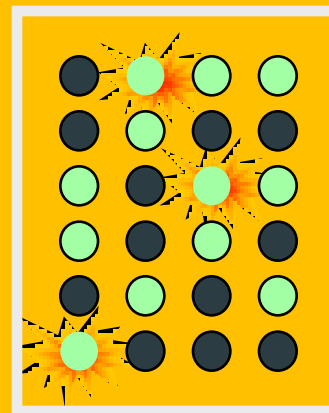
λ = probabilidad de que un átomo se desintegre por unidad de tiempo;

N = nº átomos

Comportamiento exponencial



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



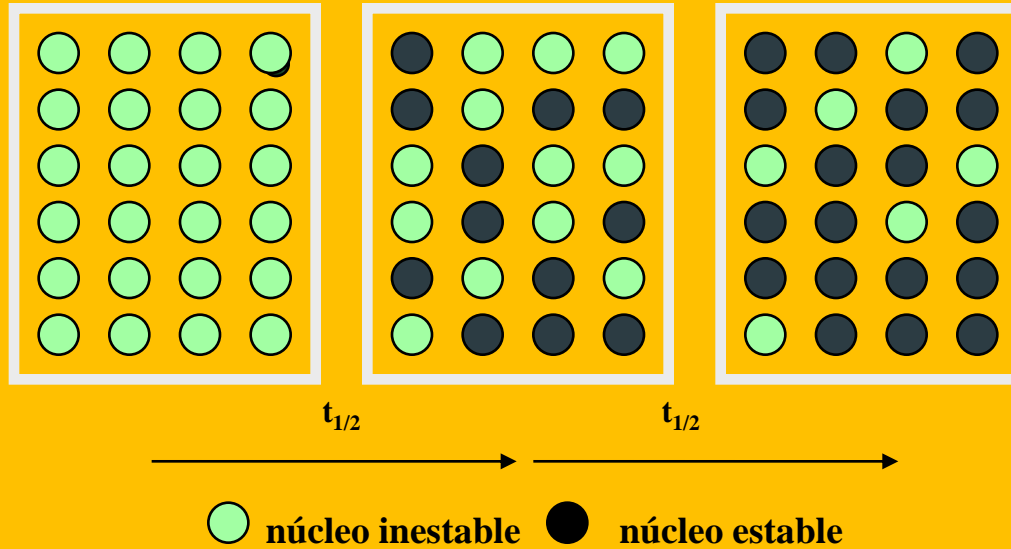
● núcleo estable

○ núcleo inestable

☀ núcleo inestable transformándose

PERIODO DE SEMIDESINTEGRACIÓN:

Ritmo de desintegración: tiempo que ha de transcurrir para que la actividad de la muestra decaiga a la mitad



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

A mayor λ menor $t_{1/2}$

A menor λ mayor $t_{1/2}$

^{232}Th (torio) $T_{1/2} = 14.000 \text{ M. de años}$

^{137}Cs (cesio) $T_{1/2} = 30,2 \text{ años}$

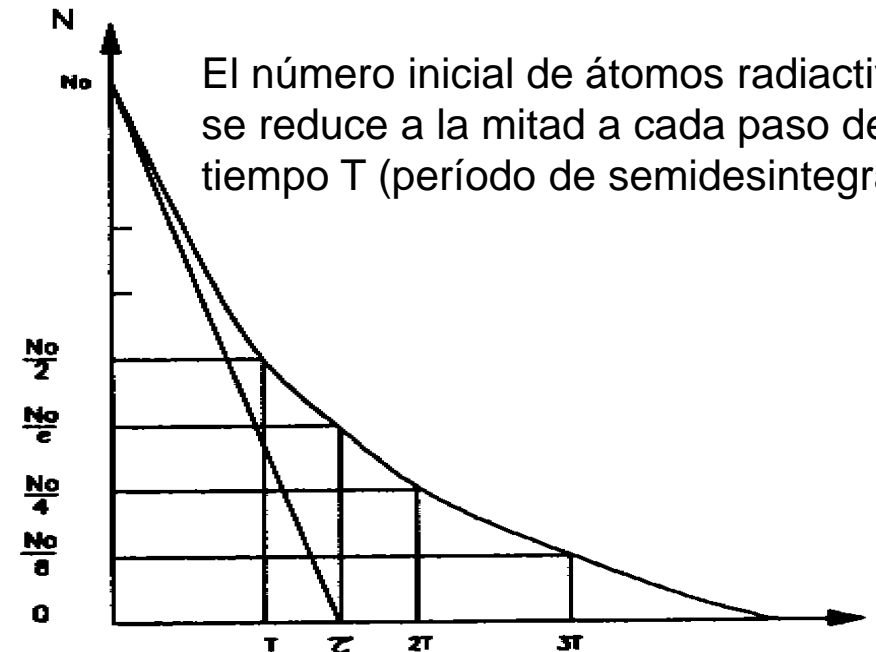
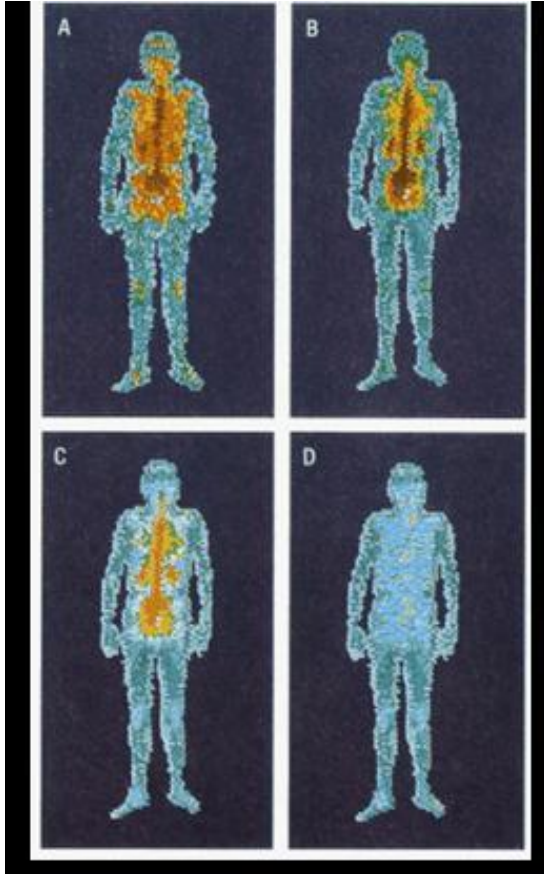
^{60}Co (cobalto) $T_{1/2} = 5,26 \text{ años}$

^{222}Rn (radón) $T_{1/2} = 4 \text{ días}$

^{124}In (indio) $T_{1/2} = 3 \text{ segundos}$

Las sustancias radiactivas se transforman en estables

CADA radionucleido SE CARACTERIZA POR SU PERIODO DE SEMIDESINTEGRACION



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

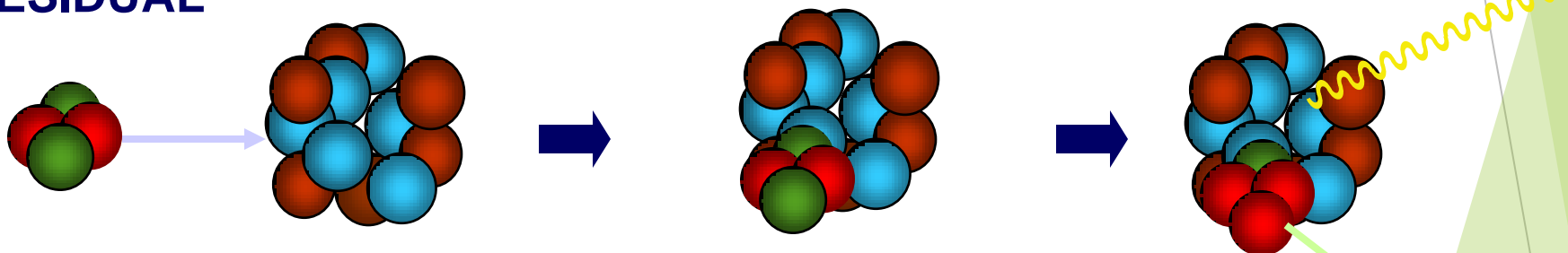
REACCIÓN NUCLEAR

Bombardeo nuclear con partículas o fotones de alta energía.
El núcleo resultante puede ser **inestable**:

¡RADIATIVIDAD ARTIFICIAL!



BLANCO (**proy**ectil, **partícula o fotón** desprendido) NÚCLEO
RESIDUAL



- ❖ ¡Transmutación de la materia!
- ❖ ¡Obtención de gran cantidad de energía!

REACCIÓN NUCLEAR

REACCIONES DE DISPERSIÓN: El proyectil se dispersa. No hay núcleo compuesto

- * Colisión mecánica **elástica**: no hay alteración nuclear
- * Colisión **inelástica**: núcleo excitado

CAPTURA RADIATIVA: El núcleo compuesto **emite** radiación **gamma** (1 fotón o cascada de fotones)



EMISIÓN DE PARTÍCULAS: El núcleo compuesto **emite partículas** (Típica de núcleos ligeros. En núcleos pesados hay una barrera coulombiana mayor)



FOTODESINTEGRACIÓN: El proyectil es un fotón

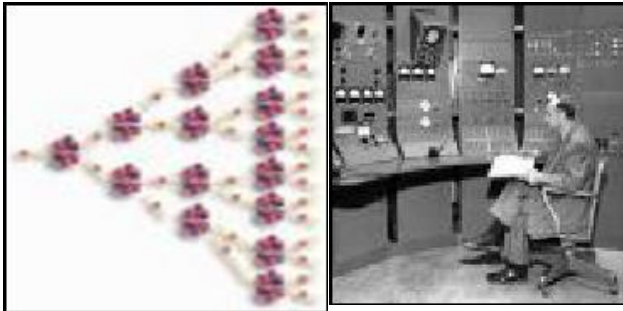
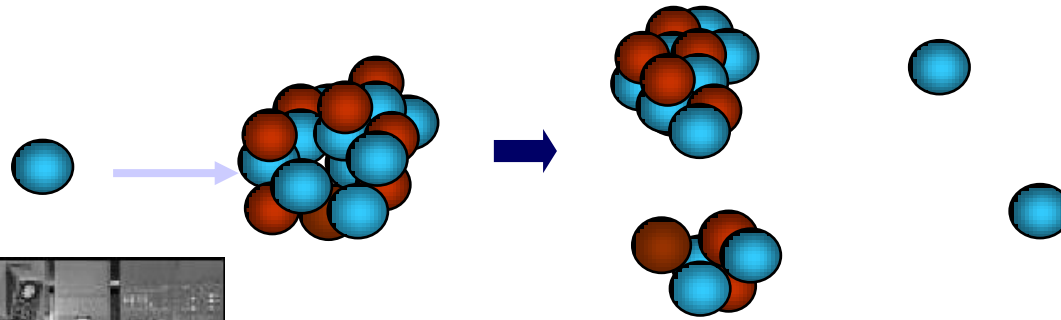


REACCIÓN NUCLEAR

FISIÓN:

El núcleo compuesto se escinde en varios fragmentos asimétricos emitiendo neutrones

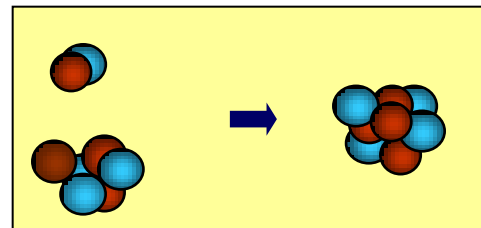
Ej.: ^{235}U bombardeado con un neutrón; en su fragmentación emite otros neutrones



Fermi fue el primero en conseguir una reacción en cadena en un reactor nuclear. Universidad de Chicago, 1942

FUSIÓN:

Varios núcleos ligeros se unen para formar otro más pesado



INTERACCIÓN DE PARTÍCULAS CON LA MATERIA. LOS NEUTRONES

Partículas sin carga -> ¡Gran penetración en la materia!

1. DISPERSIONES ELÁSTICAS CON LOS NÚCLEOS DEL MATERIAL:

Ej.: núcleos de hidrógeno-> protones de retroceso

Los neutrones van perdiendo energía -> la energía cinética media de los átomos o moléculas del medio

Neutrones de baja energía: neutrones térmicos

2. DISPERSIONES INELÁSTICAS:

El núcleo, después del choque, queda en estado excitado -> emisión, en general, de un fotón gamma

3. ABSORCIÓN DEL NEUTRÓN POR UN NÚCLEO DEL MATERIAL:

Reacciones nucleares (captura radiativa, emisión de partículas o fisión):

