

TEMA 5: FÍSICA NUCLEAR

1- O NÚCLEO ATÓMICO. CONSTITUCIÓN

Unha das evidencias experimentais da existencia do núcleo tivo lugar en 1896 cando *Becquerel* observou por primeira vez o fenómeno da *Radioactividade*, que consiste na emisión de partículas por parte dos núcleos de certos átomos (experimentalmente comprobouse que non dependía de factores externos aos que se podía someter a substancia no laboratorio, tales como variacións de temperatura, presión, reaccións químicas con outros átomos, etc., o que fixo pensar que tiña lugar nas partes máis internas dos átomos, os núcleos). Anos máis tarde, *Rutherford* puxo de manifesto a existencia do núcleo atómico ao bombardear un metal (ouro) con partículas alfa.

- Ao número de protóns dun átomo chámasele **número atómico (Z)**. Este número caracteriza ao elemento. Se 2 átomos teñen o mesmo número atómico pertencen ao mesmo elemento.
- Ao número de nucleóns (denominación común de protóns e neutróns por atoparse ambos no núcleo) chámasele **número másico (A)**.

Estes números escríbense en torno ao símbolo do elemento da seguinte maneira: A_ZX .

Dous ou máis átomos que teñan igual número atómico e diferente número másico dise que son entre eles **isótopos**. Os isótopos dun mesmo elemento teñen as mesmas propiedades químicas, pero distintas propiedades nucleares. Os isótopos radioactivos de calquera elemento chámanse **radioisótopos**.

O radio R do núcleo dun átomo pode calcularse coa expresión $R = 1,3 \cdot 10^{-15} \cdot A^{1/3}$, en metros.

Trátase dunha fórmula empírica onde A é o número másico, dela dedúcese que:

- O volume dos núcleos é directamente proporcional a súa masa. $V = \frac{4}{3} \pi \cdot R^3$ *(comprobar)
- A densidade é a mesma para todos os núcleos e con un valor moi grande, arredor de 10^{17} kg/m^3 (unha densidade 10^{14} veces maior ca de calquera corpo coñecido!). Este feito pon en evidencia que a materia é practicamente *espazo baleiro*, de xeito que o tamaño do núcleo é unhas 10000 veces máis pequeno que o tamaño do átomo ao que pertence.

2. FORZAS NUCLEARES. ENERXÍA DE ENLACE.

Considerando só interaccións de natureza eléctrica e gravitatoria entre os *nucleóns* que forman un núcleo, non se pode explicar que estes sexan estables (*a forza eléctrica de repulsión entre os protóns sería moito maior que a forza gravitatoria de atracción entre protóns e neutróns*). Hai que pensar noutro tipo de interacción entre os nucleóns de intensidade superior ás mencionadas: é a chamada **forza nuclear de interacción forte**. Xurde do intercambio

Fuerza	Intensidad	Alcance (m)
Fuerte	1	10^{-15}
Electromagnética	10^{-2}	Infinito
Débil	10^{-13}	10^{-18}
Gravitatoria	10^{-38}	Infinito

de *gluóns* entre os *quarks* que forman os neutróns e os protóns (3 quarks cada un, Protón: 2 quark **up** e 1 quark **down**. Neutrón: 1 quark **up** e 2 quark **down**). Esta interacción é a máis intensa de todas, pero de moi curto alcance: 10^{-15} m aproximadamente, sendo desprezable a distancias maiores. Á parte da *interacción forte* tamén temos a **forza nuclear de interacción débil** (10^{13} veces menor que a interacción forte) e que é a causante de certas reaccións nucleares como por exemplo a desintegración β (emisión de e^- por parte do núcleo).

CARACTERÍSTICAS DAS FORZAS NUCLEARES

- Son forzas atractivas de gran intensidade a tenor do tamaño dos núcleos e a súa enorme densidade, que actúan a nivel do núcleo vencendo a repulsión electrostática entre os protóns.
- Son de curto alcance, é dicir, cada nucleón interacciona cos nucleóns máis próximos. Pero a distancias moi curtas, as forzas nucleares fanse repulsivas polo que a distancia media entre os nucleóns permanece constante e o volume por nucleón tamén permanece cte.
- A forza de interacción entre dous nucleóns é independente da carga, polo que a forza entre dous nucleóns, ben sexan protón-protón, neutrón-neutrón ou protón-neutrón, é aproximadamente a mesma.

2.1 ENERXÍA DE ENLACE

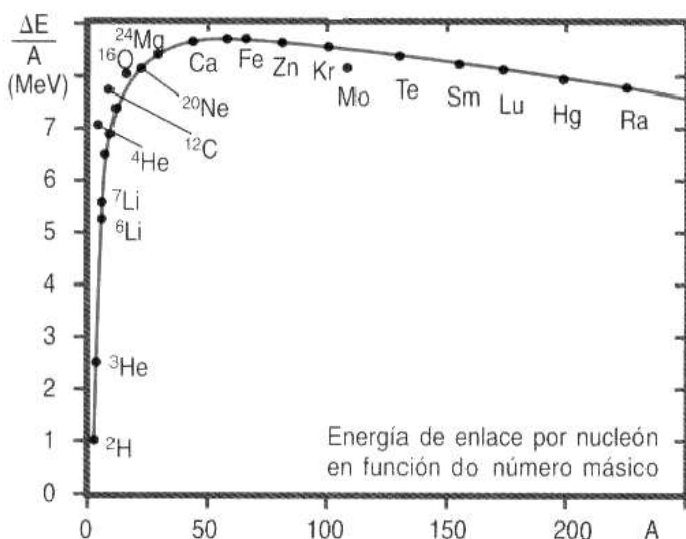
Podería pensarse que a masa M dun núcleo se obtén sumando Z veces a masa do protón e N veces a masa do neutrón. Porén, a masa do núcleo dun átomo é sempre inferior á suma das masas dos nucleóns que o constitúen. Esta diferenza de masa é o que se coñece **como defecto de masa** nuclear, e podémolo calcular mediante a expresión:

$$\Delta m = Z \cdot (m_p + m_e) + (A - Z) m_n - M_{\text{átomo}} = Z \cdot m_p + (A - Z) m_n - M_{\text{núcleo}}$$

Para ver o significado deste defecto de masa temos que empregar a fórmula de *Einstein* sobre a equivalencia entre masa e enerxía: $E = \Delta m \cdot c^2$, onde $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ é a velocidade da luz no baleiro.

Se Δm representa a variación de masa do núcleo dun átomo, o produto $\Delta m \cdot c^2$ representa a enerxía liberada na formación dese núcleo a partir dos seus nucleóns e denomínase enerxía de enlace. Tamén representa a *enerxía mínima que hai que subministrar a un núcleo para descompoñelo nos seus nucleóns*.

Ó cociente entre a enerxía de enlace dun núcleo e o número de nucleóns que posúe é a enerxía de enlace por nucleón. Representa a enerxía necesaria para extraer un nucleón do núcleo e o seu valor é un indicador do seu grao de estabilidade: canto maior sexa a enerxía de enlace por nucleón maior estabilidade.



A representación da enerxía de enlace por nucleón en función do número másico indícanos que a enerxía aumenta rapidamente na zona dos elementos máis lixeiros (para A dende 1 ata 20), a continuación segue aumentando máis lentamente ata acadar o valor máximo ao redor de $A = 56$. E a partir do Ferro esta enerxía comenza a súa diminución paulatina. O núcleo máis estable é o Ferro-56 ao que lle corresponde unha enerxía de enlace de 8'8 MeV/nucleón. As maiores enerxías de enlace por nucleón

preséntanse para números másicos comprendidos entre 40 e 100 aproximadamente.

Se un núcleo pesado se divide en dous núcleos máis lixeiros (**fisión nuclear**), ou se dous núcleos lixeiros se unen para formar outro máis pesado (**fusión nuclear**), obtéñense núcleos máis estables, é dicir, os núcleos dos produtos teñen maior enerxía de enlace por nucleón que a que tiñan os núcleos de partida.

Exercicio resolto

Calcula o defecto de masa e a enerxía de enlace nuclear do Helio.

Datos: $m_{\text{He}} = 4,002603 \text{ u}$, $m_e = 5,486 \cdot 10^{-4} \text{ u}$, $m_p = 1,007276 \text{ u}$, $m_n = 1,008665 \text{ u}$, $1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

Solución:

Calculamos primeiro a masa do núcleo de Helio restándolle á masa do átomo a masa dos electróns que posúe:

$$m_{\text{núcleo}} = 4,002603 - 2 \cdot 5,486 \cdot 10^{-4} = 4,001506 \text{ u}$$

Agora obtemos a masa de dous protóns e dous neutróns, que son os nucleóns que posúe o Helio:

$$2 \cdot 1,007276 + 2 \cdot 1,008665 = 4,031882 \text{ u}$$

$\Delta m = 4,001506 - 4,031882 = - 0,030376 \text{ u}$, correspondéndolle a enerxía de enlace nuclear:

$$E = - 0,030376 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = - 4,5382 \cdot 10^{-12} \text{ J} \Rightarrow \text{Pasala a MeV}$$

Exercicio resolto

Calcula o defecto de masa nuclear, a enerxía de enlace nuclear expresada en Julios e en eV e a enerxía de enlace por nucleón do ^{55}Mn ($Z = 25$).

Datos: Masa at do $^{55}\text{Mn} = 54,938 \text{ u}$, $m_e = 0,0005486 \text{ u}$, $m_p = 1,007276 \text{ u}$, $m_n = 1,008665 \text{ u}$, $q_e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

Solución:

Igual que no exercicio anterior, o defecto de masa podémolo coñecer calculando primeiramente a masa do núcleo de magnesio e restándolle despois a masa dos nucleóns que o forman. O ^{55}Mn ten 30 neutróns e 25 electróns e protóns. Se á masa atómica do magnesio lle restamos a masa de 25 electróns, obtemos a masa do núcleo:

$$54,938 - 25 \cdot 0,0005486 = 54,9243 \text{ u}$$

A masa de 25 protóns e 30 neutróns é: $25 \cdot 1,007276 + 30 \cdot 1,008665 = 55,44185 \text{ u}$

O defecto de masa é: $\Delta m = 54,9243 - 55,44185 = - 0,51755 \text{ u}$

A enerxía de enlace nuclear é: $E = \Delta m \cdot c^2 = - 0,51755 \cdot 1,66 \cdot 10^{-21} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = - 7,7322 \cdot 10^{-11} \text{ J}$

Se relacionamos a carga do electrón coa unidade de carga no SI, teremos expresados os Julios (J) en unidades de eV:

$$E = 7,7322 \cdot 10^{-11} \text{ J} \cdot \frac{1 \text{ eV}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 4,8266 \cdot 10^8 \text{ eV}$$

A enerxía de enlace por nucleón será a enerxía de enlace de 1 núcleo dividida polo número de nucleóns (25 protóns + 30 neutróns):

$E = \frac{4,8266 \cdot 10^8 \text{ eV}}{55 \text{ nucleóns}} = 8,776 \cdot 10^6 \frac{\text{eV}}{\text{nucleón}}$
--

3. RADIOACTIVIDADE NATURAL E REACCIÓNS NUCLEARES.



A desintegración radioactiva, ou *radioactividade natural*, é o fenómeno consistente na emisión espontánea de partículas ou radiación (fotóns) por parte dalgunhas substancias. Foi Becquerel no ano 1896 quen observou por primeira vez este fenómeno ao darse conta de que certas sales de Uranio enegrecían *-impresionaban-* as placas fotográficas (aínda que estas estivesen na total escuridade).

Creíase que o Uranio era a única substancia radioactiva, pero dous anos máis tarde *Marie Curie* descubriu un novo elemento radioactivo: o *Polonio*. Máis tarde, nese mesmo ano, descubre tamén o *Radio*. En 1904 xa se coñecían arredor duns vinte elementos radioactivos, grazas fundamentalmente a Rutherford e Soddy.

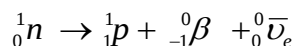
Cando as radiacións emitidas por unha substancia radioactiva se fan pasar a través dun campo magnético, obsérvase que:

- Parte desvíanse lixeiramente nun sentido.
- Parte desvíanse máis fortemente en sentido contrario.
- Outras non sofren desviación nengunha.

Rutherford denominou a estas tres compoñentes cos nomes de raios alfa (α), raios beta (β) e raios gamma (γ), respectivamente.

Similares desviacións se observan se cambiamos o campo magnético por un campo eléctrico E .

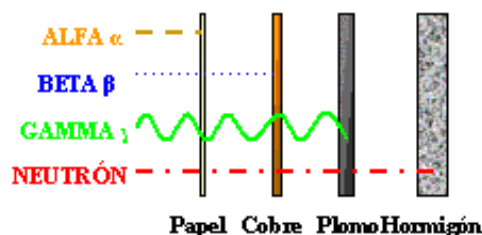
Como os raios β se desvían no mesmo sentido que os raios catódicos, Becquerel pensou que era como si se tratase de electróns. Pero como no núcleo non hai electróns, suponse que todo sucede como se un neutrón se desintegra en un protón, un electrón (que é a radiación β emitida) e un antineutrino electrónico, $\bar{\nu}_e$:



Pola contra os raios α desvíábanse en sentido oposto aos raios β (e só lixeiramente), todo indicaba que tiñan carga positiva e gran masa.

Rutherford demostrou que se trataba de núcleos de Helio: ${}_2^4\alpha^{+2}$

Por último, os raios γ non resultaban desviados por campos eléctricos nin magnéticos polo que se decidiu que se trataba dunha radiación electromagnética da mesma natureza que a luz ou os RX. Emítense cando un núcleo que se atopa nun estado excitado (o que ocorre habitualmente tras producirse unha desintegración radioactiva α ou β) pasa a outro estado de menor enerxía.

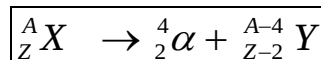


Dado que os raios α e β son en realidade partículas, hoxe en día substitúese o termo de raio polo de partícula (partículas α e β) e séguese empregando o de raio (ou radiación) γ .

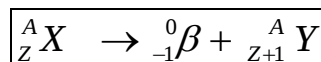
4. LEIS DO DESPRAZAMENTO RADIOACTIVO: LEIS DE SODDY E FAJANS.

Dadas as características das partículas α e β e as dos raios γ , sucede que:

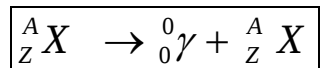
- Cando un átomo de nº másico A e nº atómico Z emite unha partícula α aparece un novo átomo con dúas unidades menos de número atómico e catro menos de número másico.



- Cando un átomo emite unha partícula β aparece un novo átomo con unha unidade máis de número atómico e de igual número másico.



- Cando un átomo emite un raio γ , diminúe o seu contido enerxético pero non varía o seu número atómico nin de masa.



Seguindo estas regras, os isótopos radioactivos transfórmanse en novos isótopos. Con frecuencia ocorre que os isótopos obtidos son, á súa vez, radioactivos, desintegrándose a continuación ata que se chega a un núclido estable. O conxunto de isótopos radioactivos que, derivando do mesmo isótopo inicial (proxenitor) e por desintegración en cadea rematan no mesmo isótopo estable, constitúe o que se chama unha **serie radioactiva**.

Exercicio

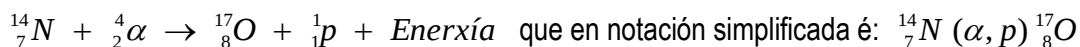
Completa as seguintes reaccións nucleares:

- a) ${}_{7}^{14}N + {}_1^1H \rightarrow {}_6^{11}C + ?$ b) ${}_{25}^{55}Mn + {}_1^2H \rightarrow {}_{26}^{56}Fe + ?$ c) ${}_{13}^{27}Al + ? \rightarrow {}_{15}^{30}P + {}_0^1n$
d) ${}_{27}^{59}Co + ? \rightarrow {}_{25}^{56}Mn + {}_2^4He$ e) ${}_{51}^{124}Sb \rightarrow {}_{52}^{124}Te + ?$

5. REACCIÓNS NUCLEARES: FISIÓN E FUSIÓN

Enténdese por reacción nuclear calquera proceso polo cal un núcleo cambia a súa composición, ben por gañancia-perda de nucleóns ou por conversión neutrón-protón. Por extensión tamén se consideran reaccións nucleares os procesos nos que un núcleo gaña ou perde enerxía sen alterar a súa composición (desintegración gamma, γ).

A primeira reacción nuclear producida artificialmente tivo lugar no ano 1919 cando Rutherford bombardeou nitróxeno con partículas α , tendo lugar a seguinte reacción:

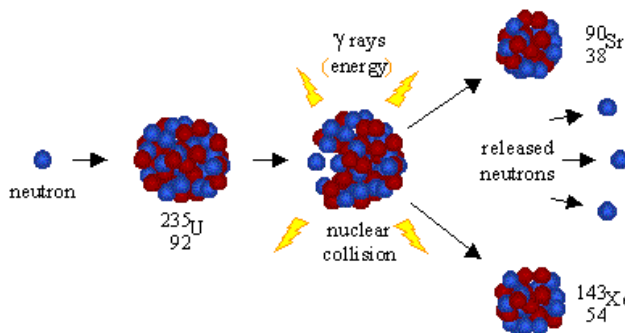
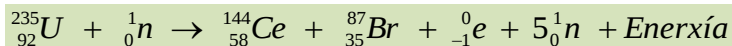
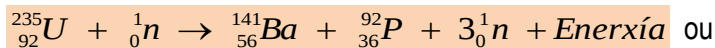


onde N é o núcleo inicial, α a partícula incidente, p a partícula emitida e O o núcleo final.

Dentro das reaccións nucleares podemos distinguir dous tipos:

Fisión: consiste na división dun núcleo pesado en dous fragmentos (núcleos) de masa intermedia cando se bombardea cunha partícula pequena (en xeral un neutrón).

Un exemplo é:

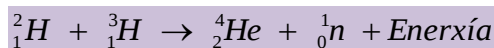


Na reacción de fisión libérase unha gran cantidade de enerxía por conversión de masa en enerxía, segundo a ecuación de Einstein: $E = \Delta m \cdot c^2$

Tamén aparecen novos neutróns capaces de continuar en cadea a reacción iniciada. Se esta reacción se leva a cabo de xeito controlado temos o fundamento dos reactores nucleares, onde se produce unha gran cantidade de enerxía en forma de calor, que posteriormente se transforma en enerxía eléctrica nas turbinas. Se a reacción discorre de forma incontrolada, trátase dunha bomba atómica.

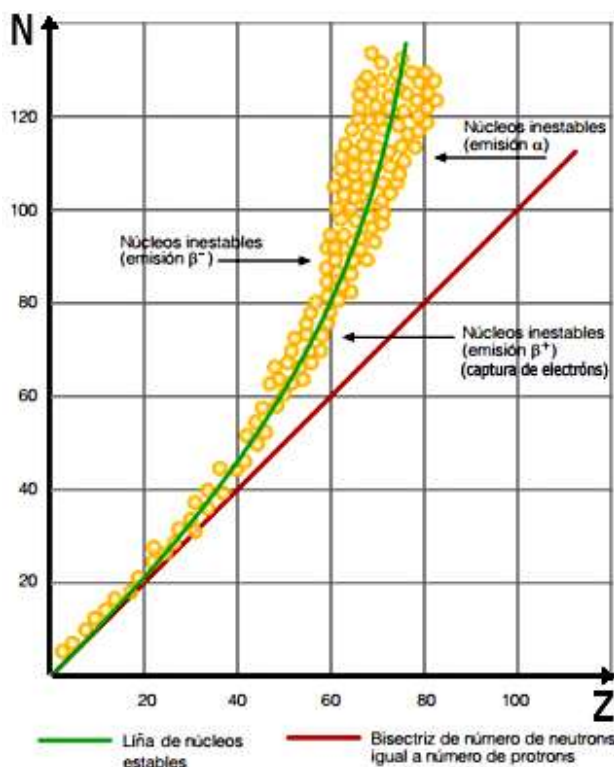
O Uranio máis susceptible de experimentar a fisión é o **U-235**, un isótopo pouco abundante na natureza, polo que o Uranio natural hai que concentralo e obter o que se coñece como Uranio enriquecido. O Uranio-235 representa un 0,7% nunha mostra de Uranio natural, na que o Uranio-238 é o isótopo máis abundante: 99,3% do total.

Fusión: consiste na unión de dous núcleos lixeiros para dar outro máis pesado, sendo a masa dos produtos da reacción menor que a dos reactivos. Durante o proceso despréndese unha gran cantidade de enerxía (*maior que nas reaccións de fisión*). Exemplo:



Ten a vantaxe de producir, como xa vimos, máis enerxía que a fisión e de non xerar residuos radioactivos (enerxía limpa) pero de momento aínda non se conseguiu unha reacción de fusión controlada (descontrolada sí, bomba termonuclear: mais destrutiva que a "atómica") como no caso das centrais nucleares (fisión) debido, sobre todo, a que é precisa unha cantidade enorme de enerxía e unha temperatura elevadísima (150 millóns °C) para iniciar unha reacción de fusión. Actualmente estase desnvolvendo en *Cadarache*, no Sudeste de Francia o proxecto **ITER** no que participan a Unión Europea, Xapón, Estados Unidos, Corea do Sur, India, Rusia e China. No ano 2006 comenzouse a construír un reactor de fusión internacional baseado no modelo *Tokamak* que consiste en quentamento de plasma por confinamento magnético. O seu obxectivo é facer posible a posta en marcha, entornao ao 2030, do primeiro reactor de fusión nuclear experimental do mundo enerxeticamente viable. O seu custo aproximado é de 24.000 millóns de euros.

6. ESTABILIDADE NUCLEAR



Un núcleo considérase estable se non se transmuta en 10^{21} anos, embora pode transmutarse noutros núcleos baixo certas condicións.

A estabilidade dun núcleo depende da relación protón / neutrón (N/Z). Os núcleos estáveis teñen igual ou maior nº de neutróns que de protóns (coa excepción de ^1H e ^3He) sendo os máis abundantes os que teñen unha relación maior que 1,2 e menor que 1,6.

Coñécese como banda de estabilidade e pódese apreciar na gráfica da dereita.

Hay 116 elementos químicos coñecidos, dos cales, 92 existen na natureza e o resto foron obtidos artificialmente. Coñécense hoxe en día uns 2000 isótopos. Deles: son estábles 274, uns 340 existen na Natureza e o resto obtivéronse no laboratorio. Polo tanto, a maioría dos nucleidos son radioactivos.

Os isótopos radioactivos son inestables e transfórmanse espontaneamente co tempo formando outros isótopos.

DESINTEGRACIÓN β^+ (POSITRÓNS)

Cando a relación N/Z é menor que 1, o núcleo experimenta unha desintegración β^+ , diminuindo Z nunha unidade e aumentando N noutra.

Exemplo: $^{12}_7\text{N} \rightarrow ^{12}_6\text{C} + ^0_1\beta^+$

Proven da desintegración dun protón no núcleo: $^1_1p \rightarrow ^1_0n + ^0_1\beta^+ + ^0_0\nu_e$ (neutrino electrónico)

Este tipo de desintegración non ten lugar nas series naturais.

Preséntase a continuación unha clasificación dos isótopos estábles atendendo ao número par ou impar dos seus nucleóns:

TABLA DE ISÓTOPOS ESTABLES

Z	N	A	Isótopos estábles	Exemplos
PAR	PAR	PAR	165	^4_2He , $^{208}_{82}\text{Pb}$
PAR	IMPAR	IMPAR	55	$^{17}_8\text{O}$, $^{57}_{26}\text{Fe}$
IMPAR	PAR	IMPAR	50	^7_3Li , $^{68}_{29}\text{Cu}$
IMPAR	IMPAR	PAR	4	^2_1H , ^6_3Li , $^{10}_5\text{B}$, $^{14}_7\text{N}$

So hai catro isótopos estábles con Z e N impar, mentras que hai 165 isótopos estábles con Z e N par o que fai supoñer que:

- Posto que o número de isótopos estábles é máximo cando Z e N son pares, debe haber unha tendencia a formar pares protón-protón e neutrón-neutrón e posto que so hai catro isótopos estábles con Z e N impares, un protón non tende a parearse con un neutrón.
- O número de isótopos estábles con Z ou N impar é a terceira parte dos isótopos con Z e N pares, o que indica a posibilidade de que o comportamento dos neutróns e protóns sexa similar e que a natureza da carga dos nucleóns sexa independente da estabilidade.

7. DECAEMENTO EXPOÑENCIAL E VIDA MEDIA

A radioactividade consiste na emisión espontánea de partículas por parte dos núcleos de certos átomos. É un proceso aleatorio e non podemos predicir cando un determinado átomo se desintegrará e emitirá radiacións.

Pero podemos aplicar as leis da estatística a un gran número de átomos radioactivos. Para ver como é este estudo, imaxinemos unha mostra con N_0 núcleos radioactivos no tempo t_0 . Cando pase un tempo t , parte dos núcleos desintegraranse e quedarán concretamente N núcleos radioactivos aínda sen desintegrar ($N < N_0$).

A velocidade de desintegración será o ritmo de cambio do número de núcleos radioactivos en función do tempo transcorrido, é dicir :

$$V_{\text{desintegración}} = \frac{N - N_0}{t - t_0} = \frac{\Delta N}{\Delta t}$$

Rutherford e Soddy demostraron no 1904 que esta velocidade é proporcional ao nº de núcleos existentes nese momento, logo :

$$V = \frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda N \quad \text{donde } \lambda \text{ é a chamada constante de desintegración, característica de cada núcleo e cuxas unidades son, no S.I., } s^{-1} \text{ (aínda que non debemos confundila coa unidade de frecuencia)}$$

O signo menos da ecuación anterior indica que o número de núcleos diminúe co tempo.

Se reordeamos a ecuación e consideramos intervalos de tempo infinitesimais, os incrementos pasan a diferenciais:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \Rightarrow \frac{dN}{N} = -\lambda dt \quad \text{Se queremos coñecer o número de núcleos (N) que quedan despois dun tempo (t), sendo } N_0 \text{ o número de núcleos ao principio, debemos integrar:}$$

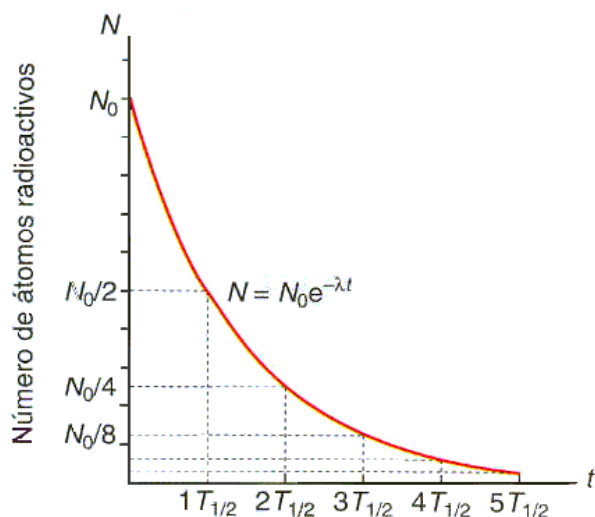
$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt \Rightarrow \ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t \Rightarrow \boxed{N = N_0 e^{-\lambda t}}$$

N_0 = Nº de átomos (núcleos) sen desintegrar no instante inicial.

N = Nº de átomos que hai no instante t

Actividade ou velocidade de desintegración:

É a velocidade de desintegración ou o nº de emisións dunha substancia por unidade de tempo. A súa unidade no S.I. é o *Becquerel* (Bq)*, que é unha desintegración por segundo. Polo tanto:



$$A = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda \cdot N = \lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda t} \text{ . Tomando}$$

$$\boxed{A_0 = \lambda \cdot N_0} \text{ como a actividade no instante inicial, quedáanos: } \boxed{A = A_0 \cdot e^{-\lambda t}}$$

* Anteriormente ao Bq definiuse o *curio*, Ci, que é a actividade dun gramo de Radio e que equivale á desintegración de $3,7 \cdot 10^{10}$ átomos/s.

Na gráfica da esquerda podemos ver como o número de núcleos diminúe exponencialmente co tempo pero matematicamente non chega a cero.

Exercicio resolto

Dispoñemos de 64g de ^{32}P radioactivo cunha constante de desintegración de $5,5 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-1}$.
Calcula as desintegracións que se producen en: a) 29,2 días e b) 1 s.
Dato: $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ partículas/mol.

Solución:

O número de átomos que se desintegraron (desintegracións) obtense restando aos iniciais os que quedan sen desintegrar:

$$-\Delta N = N_0 - N = N_0 - N_0 e^{-\lambda t} = N_0 (1 - e^{-\lambda t})$$

a) Empezamos calculando o número de átomos iniciais:

$$N_0 = \cancel{64g} \cdot \frac{\cancel{1mol}}{\cancel{32g}} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \frac{\cancel{\text{átomos}}}{\cancel{\text{mol}}} = 1,204 \cdot 10^{24} \text{ átomos}$$

b) O número de desintegracións que se producen en 29,2 días é:

$$-\Delta N = 1,204 \cdot 10^{24} (1 - e^{-5,5 \cdot 10^{-7} \cdot 29,2 \cdot 24 \cdot 3600}) = 9,03 \cdot 10^{23} \text{ desintegracións}$$

c) O número de desintegracións que se producen en 1s é:

$$-\Delta N = 1,204 \cdot 10^{24} (1 - e^{-5,5 \cdot 10^{-7} \cdot 1}) = 6,62 \cdot 10^{17} \text{ desintegracións}$$

Exercicio

Unha mostra radioactiva ten unha actividade de 2000 desintegracións por segundo nun instante determinado e unha actividade de 400 desintegracións por segundo 90 minutos máis tarde. Calcula a constante de desintegración desta substancia radioactiva.

Periodo de semidesintegración:

Defínese o período de semidesintegración, $T_{1/2}$ como o tempo necesario para que a cantidade dunha substancia radioactiva se reduza á metade.

É dicir, para $t = T_{1/2} \Rightarrow N = \frac{N_0}{2}$ e, en consecuencia:

$$\frac{N_0}{2} = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot T_{1/2}} \Rightarrow \text{Eliminado } N_0 \text{ queda: } \frac{1}{2} = e^{-\lambda \cdot T_{1/2}}$$

Tomando logaritmos neperianos:

$$\ln 1 - \ln 2 = -\lambda \cdot T_{1/2} \Rightarrow -\ln 2 = -\lambda \cdot T_{1/2} \Rightarrow T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

O período de semidesintegración dunha substancia radioactiva é sempre o mesmo. Non depende da cantidade de substancia que teñamos inicialmente.

A modo de exemplo, na táboa seguinte aparecen os periodos de semidesintegración dalgúns núcleos radioactivos.

Berilio-8	Polonio-213	Aluminio-28	Iodo-131	Estroncio-90	Radio-226	Carbono-14	Rubidio-87
10^{-16} s	$4 \cdot 10^{-6} \text{ s}$	2'25 min.	8 días	28 anos	1600 anos	5730 anos	$5'7 \cdot 10^{10} \text{ anos}$

Vida media

O período de semidesintegración non debe confundirse coa vida media, τ , que é o tempo de vida medio de todos os átomos presentes. Obteríase sumando a vida de todos os átomos e dividindo o resultado polo seu número.

Pódese demostrar que: $\tau = \frac{1}{\lambda}$

Vemos que a vida media é a inversa da constante de desintegración e se a relacionamos co período de semidesintegración resulta que:

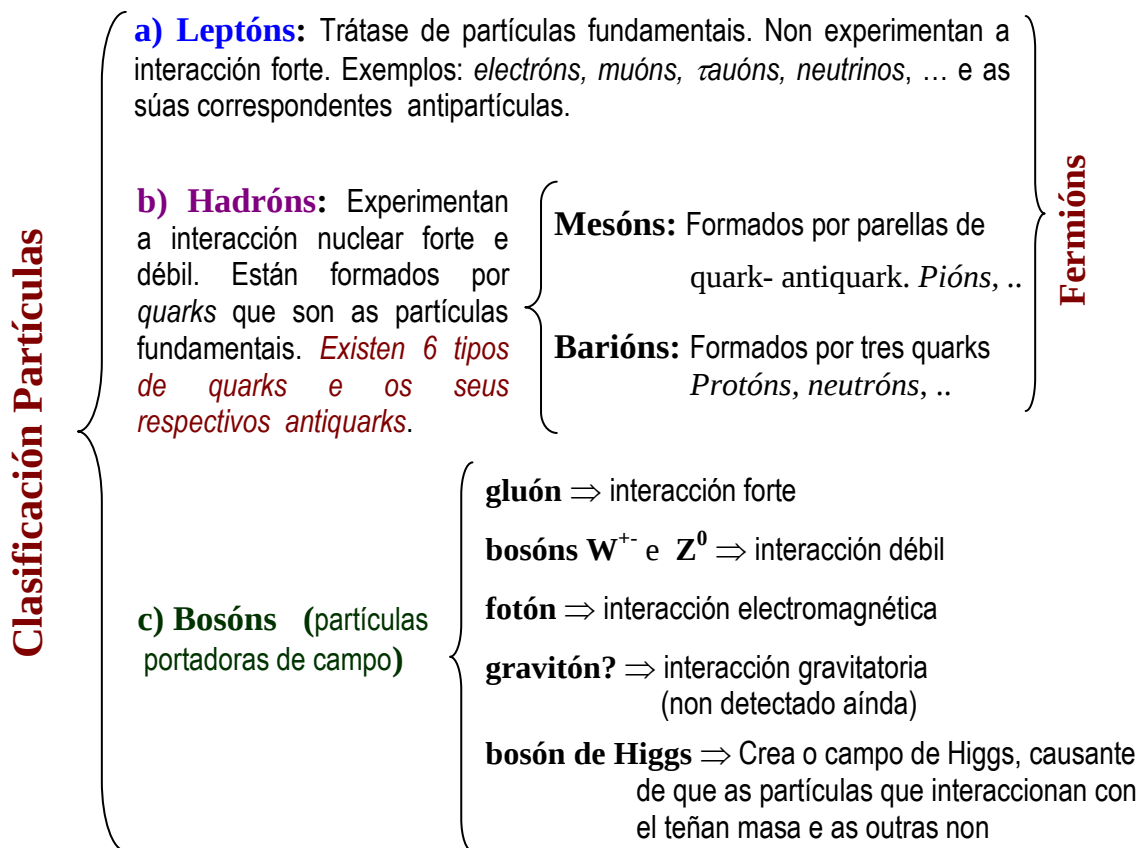
$$T_{1/2} = \ln 2 \cdot \tau$$

*Na táboa seguinte aparecen as características máis relevantes das catro **series radioactivas naturais**:

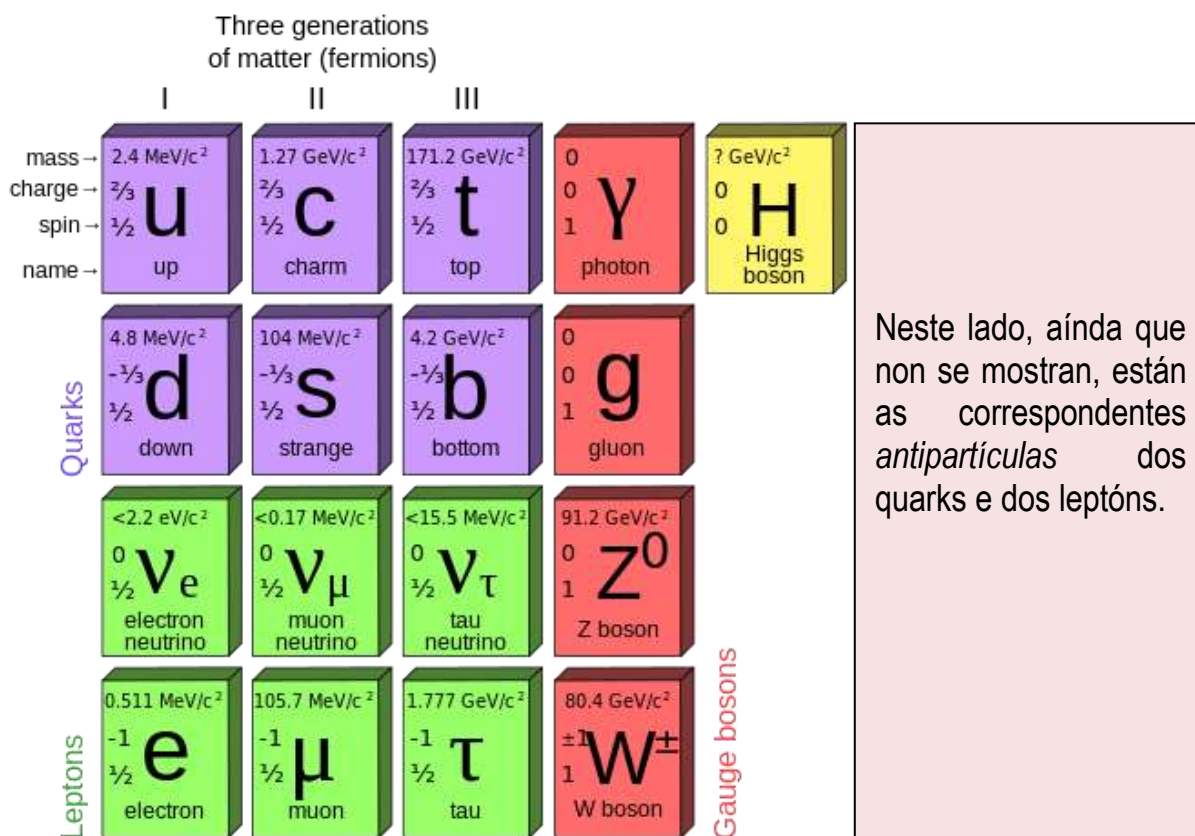
Serie	Nº másico	Núcleo pai	$T_{1/2}$	Núcleo final
Torio	4n	Torio-232	$1'39 \cdot 10^{10}$ anos	Chumbo-208
Neptunio	4n+1	Neptunio-237	$2'25 \cdot 10^6$ anos	Bismuto-209
Uranio	4n+2	Uranio-238	$4'51 \cdot 10^9$ anos	Chumbo-206
Uranio -Actinio	4n+3	Uranio-235	$7'07 \cdot 10^8$ anos	Chumbo-207

A columna do número másico significa que todos os números másicos dos núcleos intermedios de cada serie responden a esa expresión sendo n un número enteiro.

8. PARTÍCULAS FUNDAMENTAIS. MODELO ESTANDAR



8.1 MODELO ESTÁNDAR PARTÍCULAS FUNDAMENTAIS



É interesante comentar que algunhas das últimas experiencias levadas a cabo no CERN inducen a pensar que o modelo estandar presenta deficiencias pois detectáronse partículas que non se axustan a este modelo, non son predicibles por el. Tampouco da explicación a materia obscura!!

EXERCICIOS E PROBLEMAS

- 1- Calcula a variación de enerxía correspondente á reacción seguinte:
 ${}_3\text{Li}^6 + {}_0\text{n}^1 \longrightarrow {}_1\text{H}^3 + {}_2\text{He}^4$, sabendo que a masa atómica relativa dos átomos ${}^6\text{Li}$, ${}^3\text{H}$ e ${}^4\text{He}$, respectivamente, é: 6,01513; 3,01700 e 4,00388 u.
Datos: $m_n = 1,008665$ u, $1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27}$ kg. **Solución:** $E = 4,355 \cdot 10^{-13}$ J
- 2- Ao bombardear núcleos de ${}_4\text{Be}^9$ con partículas α obtense ${}_6\text{C}^{12}$. Escribe a reacción nuclear correspondente.
- 3- Unha das reaccións de fisión posibles do ${}_{92}\text{U}^{235}$ é a formación de ${}_{94}\text{Sr}^{38}$ e ${}_{140}\text{Xe}^{54}$, liberándose dous neutróns.
 - a) Formula a reacción e calcula o balance de masa.
 - b) Calcula a enerxía liberada por 20 mg de uranio.
 $m_U = 234,9943$ u; $m_{\text{Sr}} = 93,9754$ u; $m_{\text{Xe}} = 139,9196$ u; $m_n = 1,0086$ u; $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
- 4- Dada a reacción nuclear: ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{58}^{144}\text{Ce} + {}_{35}^{87}\text{Br} + {}_{-1}^0\text{e} + 5{}_0^1\text{n}$, calcular, en kw-h, a enerxía desprendida por gramo de Uranio-235 fisionado.
Datos: $m_U = 234,9943$ u, $m_{\text{Ce}} = 143,8816$ u e $m_{\text{Br}} = 86,9028$ u, $m_e = 0,000549$ u, $m_n = 1,00867$ u
Solución: 18455 kw-h

- 5- Na bomba de hidróxeno prodúcese unha reacción termonuclear na que se forma Helio a partir de Deuterio e de Tritio.
a) Escribe a reacción nuclear.
b) Calcula a enerxía liberada na formación dun átomo de Helio e a enerxía de enlace por nucleón do Helio.
 $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$; $m({}_4\text{He}^2) = 4,0026 \text{ u}$; $m({}_1\text{H}^3) = 3,0170 \text{ u}$; $m({}_1\text{H}^2) = 2,0141 \text{ u}$; $m_p = 1,0078 \text{ u}$; $m_n = 1,0086 \text{ u}$; $1 \text{ u} = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
- 6- A actividade dun elemento radioactivo pasa a valer 1/64 do seu valor inicial despois de transcorrer 48 s. En consecuencia, o seu período de semidesintegración é:
a) 48 s; b) 8 s; c) 0,087 s. Elixe de forma razoada a opción que consideres correcta.
- 7- A actividade dunha substancia radioactiva pasa a ter nun tempo t o valor de 1/16 do seu valor inicial: $A = A_0/16$. Se a súa vida media é de 199,1 segundos di cal das seguintes opcións che parece a correcta para o valor de t , razoa a resposta:
a) 138 días; b) $5,02 \cdot 10^{-1}$ días; c) 552 s; d) 3185,6 días.
- 8- Sabendo que o período de semidesintegración do ${}_{38}\text{Sr}^{90}$ é de 28 anos, calcula: a) a actividade de 200 g desta substancia e b) o tempo necesario para que se desintegre o 87,5% da mostra orixinal. Dato: $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ partículas/mol.
Solución: a) $A = 1,051 \cdot 10^{15} \text{ Bq}$; b) $t = 84$ anos.
- 9- O período de semidesintegración do polonio-210 é de 138 días, a) ¿Canto vale a constante radioactiva do Polonio? b) ¿Cantos días tardará en desintegrarse o noventa por cento da mostra inicial? (*Selectividade COU; xuño 00*)
Solución: a) $\lambda = 5,023 \cdot 10^{-3} \text{ días}^{-1}$; b) $t = 458,41$ días.
- 10- Unha mostra de material radioactivo contén 500 millóns de núcleos radioactivos. A vida media é de 30 s. Determina: a) o número de núcleos radioactivos que existen na mostra despois de 15 s e b) a constante λ de decaemento exponencial, ou constante radioactiva, do núcleo. (*Selectividade COU; xuño 92*).
Solución: a) $N = 3,03 \cdot 10^8$ núcleos; $\lambda = 1/30 \text{ s}^{-1}$
- 11- Un miligrama de ${}_{27}\text{Co}^{60}$ desintégase de acordo coa reacción:

$${}_{27}^{60}\text{Co} \rightarrow {}_{28}^{60}\text{Ni} + {}_{-1}^0e + {}_0^0\bar{\nu}$$
sendo $T_{1/2}$ igual a 3,5 anos. Acha: a) a enerxía desprendida e b) o número de desintegracións por segundo no momento inicial. (*Selectividade 96*).
Datos: $m_{\text{Co}} = 59,9190 \text{ u}$, $m_{\text{Ni}} = 59,91544 \text{ u}$, $m_e = 5,486 \cdot 10^{-4} \text{ u}$, $1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$
Solución: a) $E = 4,538 \cdot 10^6 \text{ J}$; b) $6,311 \cdot 10^{10}$ desintegracións/s
- 12- Dispónse de 1 mol de ${}^{32}\text{P}$ radioactivo de período de semidesintegración de 14,6 días,
a) Cantas desintegracións por segundo se producen?
b) Cantos días tardará en desintegrarse o 90% do material?
(*Selectividade xuño 99*). **Solución:** a) $A = 3,309 \cdot 10^{17}$ desintegracións/s; b) $t = 48,5$ días.
- 13- Calcula a actividade de 5 mg de ${}^{212}\text{Bi}$ sabendo que o período de semidesintegración é de 60,5 minutos. ¿Cantos átomos se desintegran no primeiro segundo?
Dato: $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ partículas/mol.
Solución: $A = 2,7120 \cdot 10^{15} \text{ Bq}$; $-\Delta N = -(N - N_0) = 2,7118 \cdot 10^{15}$ átomos.
- 14- A actividade radioactiva debida ao Carbono-14 duns tecidos atopados nunha tumba exipcia, é o 53% da que presentan uns tecidos similares actuais. O período de semidesintegración do Carbono-14 é de 5730 anos. Calcula a idade dos tecidos.
Solución: 5250 anos.

15- Sitúase un detector de radioactividade fronte a unha mostra radioactiva que posúe un período de semidesintegración de 60 s. No instante $t = 0$ o detector marca unha velocidade de desintegración de 2000 contas/s. Calcula:

- a) a constante de desintegración radioactiva λ
- b) a velocidade de desintegración ao cabo de 1 minuto. (Selectividade COU; xuño 98).

Solución: a) $\lambda = 0,012 \text{ s}^{-1}$; b) $A = 973,5 \text{ contas/s}$.

16-Unha mostra contén inicialmente 10^{20} átomos, dos cales un 20 % corresponden a material radioactivo con un período de semidesintegración de 13 anos. Calcula:

- a) a constante de desintegración do material radioactivo;
- b) o número de átomos radioactivos iniciais e a actividade inicial da mostra;
- c) o número de átomos radioactivos ao cabo de 50 anos;
- d) a actividade da mostra ao cabo de 50 anos

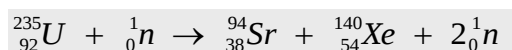
17-O ${}_{29}\text{Cu}^{64}$ pode dar lugar á desintegración β^- (ou β) dando lugar a Zn e á desintegración β^+ dando Ni. Escribe ambas reaccións.

18-Temos 100 g dunha mostra radioactiva tal que em 1 día transformouse o 20% da masa orixinal, pídese calcular:

- a) A constante de desintegración.
- b) O periodo de semidesintegración.
- c) A vida media.
- d) A masa que quedará tras 20 días.

19-O curio (Ci) é unha unidade de actividade radioactiva que se define como a actividade de 1 g de Radio. Sabendo que a constante de semidesintegración do Radio é $\lambda = 1,4 \cdot 10^{-11} \text{ s}^{-1}$, a súa masa atómica 226 u e que $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ calcula a relación existente entre esta unidade e os bequerels (Bq).

20-Un submarino nuclear funciona grazas á enerxía liberada na fisión seguinte:



Calcular a masa de U-235 consumida en 10 días se a potencia do reactor nuclear do submarino é de 25 Mw.

Datos masas (u): U-235=235,044; Sr-94=93,9154; Xe-140=139,925; n=100867. **Solución:** 289,4 g

21-Dispoñemos dunha mostra dun radioisótopo A e outra dun radioisótopo B. No instante inicial hai o mesmo nº de núcleos de A e B. Transcorridos 1350 s o nº de núcleos de A é o dobre có de B. Calcula o periodo de semidesintegración do radioisótopo B sabendo que o de A vale $T_{1/2} = 150 \text{ s}$.

22-Cando un núcleo de ${}_{25}^{55}\text{Mn}$ captura un neutrón transformase nun isótopo radioactivo (inestable), de masa atómica 55,9389 u, que emite unha partícula β transformándose en ferro con un periodo de semidesintegración de 2,58 h.

- a) Escribe as reaccións mencionadas.
- b) Cantos gramos de isótopo serán necesarios para que a mostra teña unha actividade de 10 Ci?