

FÍSICA NUCLEAR.

- 1. Núcleo atómico**
- 2. Desintegración radioactiva**
 - 2.1 Emisións radioactivas.**
 - 2.2 Constante de desintegración, vida media e actividade.**
- 3. Forzas nucleares e enerxía de enlace no núcleo**
 - 3.1 Forzas nucleares**
 - 3.2 Enerxía de enlace por nucleón**
- 4. Reaccións nucleares**
 - 4.1 Fisión nuclear**
 - 4.2 Fusión nuclear**
- 5. Aplicacións da radiación e riscos ambientais.**
- 6. Partículas elementais e interaccións fundamentais**

A Física Nuclear é a parte da física que estudia os núcleos atómicos, nace en 1896 cando Henri Becquerel descobre a radioactividade do Uranio, o desenrolo desta parte da física fai posible un mellor coñecemento da materia e do universo, achega á humanidade novas formas de enerxía máis eficientes, tratamentos para enfermidades coma o cancro... ese tremendo potencial fai que mal empregada podería levar a humanidade a un cataclismo que acabase con ela.

O traballo de Becquerel tivo continuación dous anos máis tarde co descubrimento de dous novos elementos radioactivos: o polonio e o radio por parte do matrimonio formado por Pierre e Marie Curie.

Este tema tentará responder a preguntas sobre a estabilidade dos núcleos, o concepto de radioactividade, as súas aplicacións e os perigos, sen esquecer termos importantes (non xa na física senón na vida cotiá) coma enerxía nuclear, contaminación radioactiva, ou reactor nuclear.

1. Núcleo atómico.

O núcleo supón o 99,75% da masa do átomo e está formado por dous tipos de partículas, os protóns e os neutróns. A unidade de masa no campo nuclear é a *uma* (en adiante *u*) unidade de masa atómica, que se define coma a doceava parte da masa do carbono 12.

$$u = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

A unidade de masa atómica en unidades de enerxía é $E = m \cdot c^2 \Rightarrow m = \frac{MeV}{c^2}$, onde a equivalencia é a seguinte: $1u = 931 \cdot \frac{MeV}{c^2}$.

Protóns: Son partículas con carga positiva igual en valor absoluto á carga do electrón.

$$q_p = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \text{ e } m_p = 1,007u = 938,6 \frac{MeV}{c^2}$$

O número atómico (Z) é o número de protóns que ten o núcleo, e nos átomos neutros coincide co número de electróns da codia.

Neutróns: Son partículas sen carga e con masa superior á do protón.

$$m_n = 1,008u = 939,5 \frac{MeV}{c^2}$$

O número másico (A) indica o número total de nucleóns (protóns máis neutróns), debido á grande proporción da masa nuclear na masa atómica total, de forma xeral, identifícase ó número másico coa masa en gramos dun mol de átomos con eses núcleos.

Densidade e radio do núcleo: Experimentalmente está comprobado que a maioría dos núcleos teñen forma esférica (a excepción dos grandes, que presentan forma elipsoidal), e o estar todos os núcleos formados por idénticos nucleóns chegamos a que o radio destas esferas é proporcional á raíz cúbica do seu número másico:

$$r = r_0 \cdot \sqrt[3]{A} \text{ onde } r_0 = 1,2 \cdot 10^{-15} \text{ m} = 1,2 f_m \quad (1 \text{ fermi} = 1 f_m = 1 \cdot 10^{-15} \text{ m})$$

O tamaño dos núcleos está no rango dos fermis (10^{-15} m), mentres que o dos átomos está no rango dos Angstroms (10^{-10} m).

Collamos coma exemplo ${}^{40}_{20}\text{Ar}$, o seu número másico é 40 co que o radio do seu núcleo será: $r = 1,2 \cdot 10^{-15} m \sqrt[3]{40} \equiv 4,1 \cdot 10^{-15} m$.

O radio do átomo de Argon é $1,5 \text{ Å} = 1,5 \cdot 10^{-10} m$, 6500 veces meirande que o núcleo, o que dá unha idea do enorme baleiro do interior dos átomos e a materia en xeral. Este baleiro explica porque algunhas partículas sen carga eléctrica poden atravesar certos grosos de materia sen sufrir desviación algunha.

Facendo unha aproximación (consistente en considerar iguais as masas de protóns e neutróns) calcularíamos a densidade do núcleo da seguinte forma:

$$\rho = \frac{A \cdot m_p}{\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r_0^3 \cdot A} = \frac{3 \cdot m}{4 \cdot \pi \cdot r_0^3} = \frac{3 \cdot 1,7 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}{4 \cdot \pi \cdot (1,2 \cdot 10^{-15} m)^3} = 2,4 \cdot 10^{17} \text{ kg/m}^3 ; \text{ vemos que a densidade}$$

do núcleo é elevadísima, (dez billóns de veces maior que a do osmio, o elemento de maior densidade), e ademais vemos que non depende do número másico, o que fai que sexa practicamente igual para tódolos núcleos.

Núcleos e elementos químicos: Chamamos *elemento químico* a tódolos átomos caracterizados por ter o mesmo número atómico, é dicir, o mesmo número de protóns no seu núcleo.

Cada elemento químico ten asignado un símbolo universal, unha letra (maiúscula) ou dúas (a primeira maiúscula e a segunda minúscula), desta forma o elemento de número atómico $Z=1$ é o hidróxeno e represéntase polo símbolo H, o elemento de $Z=2$ é o helio (He), e así sucesivamente.

Poden existir átomos dun mesmo elemento (mesmo número atómico Z), que presenten diferente número másico (A), son os chamados *isótopos*. Chamamos *núclidos* a todos os átomos dun elemento que presenten o mesmo número másico, a forma de representar un núclido é engadindo o número másico ao nome do elemento (ex: cloro 35, carbono 12,...) ou ben indicando o símbolo do elemento precedido dun subíndice que indique o número atómico e un superíndice que indique o número másico (ex: ${}^{35}_{17}\text{Cl}$ e ${}^{12}_6\text{C}$).

No caso do hidróxeno (que presenta tres isótopos naturais ${}^1_1\text{H}$, ${}^2_1\text{H}$ e ${}^3_1\text{H}$) o hidróxeno 2, as veces, denomínase *deuterio*, e o hidróxeno 3 *tritio*.

2. Desintegración radioactiva.

Os núcleos con estrutura ben establecida son estables; os núcleos inestables son fráxiles podendo adquirir estruturas que lles permiten desintegrarse en fragmentos menores ou núcleos de menor enerxía. Chamamos *núcleos radioactivos* a estes núcleos inestables.

A radioactividade ou desintegración radioactiva é o proceso espontáneo polo cal estes núcleos inestables dan lugar a produtos de desintegración máis estables.

Dos 1500 núclidos coñecidos, 325 atópanse na natureza, e destes 325 núclidos naturais 274 son estables e 51 inestables ou radioactivos. Os núcleos radioactivos formáronse hai $6 \cdot 10^9$ anos, desintegrándose pouco a pouco, desta forma existen os núclidos de desintegración máis lenta (períodos de desintegración maior) coma o uranio 238 ($T=4,51 \cdot 10^9$ anos), uranio 235 ($T=7,13 \cdot 10^8$ anos) e torio 232 ($T=1,39 \cdot 10^{10}$ anos). Na natureza tamén atopamos núclidos de

períodos de semidesintegración moito menores, coma o radio 226 ($T=1622$ anos) ou o polonio 210 ($T=138$ días), estes núclidos proceden da desintegración dos anteriormente citados.

2.1. Emisións radioactivas.

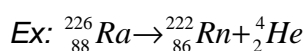
As emisións radioactivas póñense de manifesto:

- Na impresión de placas e dispositivos fotoluminiscentes.
- Na produción de destelos en sustancias como o ioduro de prata (AgI).
- Na ionización dun gas (contadores Geiger-Muller).

A partires das evidencias científicas están identificadas catro tipos de radiacións nucleares: as partículas α , as partículas β^- , as partículas β^+ e os raios γ .

Partículas alfa: (α) Os experimentos de Rutherford en 1903 amosaron a desviación destas partículas nun campo magnético demostrando que unha partícula alfa era unha carga positiva, en concreto un núcleo de helio ${}^4_2\text{He}^{2+}$.

Estas partículas son moi ionizantes, sendo freados e aniquilados por uns poucos centímetros no aire; é unha radiación propia de núcleos pesados ($A>150$), ao expulsar un núcleo de helio formado por dous protóns e dous neutróns, polo que quedará un núcleo residual que verá reducido (respecto do núcleo orixinal) o seu número atómico en dúas unidades e o seu número másico en catro unidades: ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-2}^{A-4}Y + {}_2^4\text{He}$



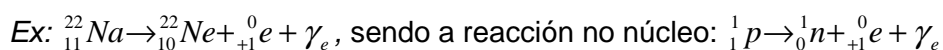
Partículas beta: Hai dúas clases de desintegracións β

(β^-) O comportamento da radiación beta menos fronte a campos eléctricos e magnéticos indica que está formada por electróns. A desintegración β^- produce no núcleo un cambio no que un neutrón transfórmase en protón, co cal o número atómico aumenta nunha unidade e o número másico permanece invariable: ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z+1}^AY + {}_{-1}^0e + \overline{\gamma_e}$; onde $\overline{\gamma_e}$ é o chamado antineutrino electrónico (de masa practicamente desprezable), postulado coma condición para que se cumpran os principios de conservación da enerxía e do momento lineal.



O electrón emerxente ten unha capacidade ionizante menor que as partículas alfa (crea uns 150 pares de ións por centímetro atravesado no aire), é moito máis penetrante que os raios α (varios metros no aire e 7 cm no aluminio) e posúa unha enorme velocidade (entorno a $0,9c$)

(β^+) O seu comportamento desta radiación fronte a campos eléctricos e magnéticos indica que está formada por positróns (partículas análogas ós electróns pero con carga positiva). Na desintegración β^+ prodúcese unha transformación dun protón nun neutrón, co cal o número atómico diminúe nunha unidade e o número másico non varía: ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-1}^AY + {}_{+1}^0e + \gamma_e$;



Radiación gamma: (γ) Son ondas electromagnéticas de frecuencias moi altas (lonxitudes de onda (λ) entre 10^{-11} e 10^{-13} m) que non sofren desviacións en presenza de campos eléctricos nin magnéticos. Os raios gamma son moi penetrantes podendo atravesar varios centímetros de chumbo.

A enerxía do núcleo está cuantizada nunha serie descontinua de niveis de enerxía, a radiación gamma prodúcese cando un núcleo que se atopa excitado volve o seu estado fundamental. En xeral esta emisión prodúcese acompañando a emisións alfa e beta.

Cando un núcleo se desintegra e faino noutro que tamén é inestable e este a súa vez noutro... ata rematar nun núcleo estable o conxunto de núclidos implicados denomínase serie radioactiva.

Coñécense tres series radioactivas naturais e unha artificial, en todas as series naturais a semivida do elemento no que comezan (cabezas de serie) é da orde da idade do sistema solar (o que permitiu detectalas) as semividas dos núcleos radioactivos que descendén delas son moito máis curtas.

Vemos de seguido as tres series radioactivas que podemos atopar na natureza coas súas cabezas de serie e os seus produtos finais:

- $4n$: $^{232}\text{Th} \rightarrow ^{208}\text{Pb}$
- $4n+2$: $^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb}$
- $4n+3$: $^{235}\text{U} \rightarrow ^{207}\text{Pb}$

Todas estas series caracterízanse polo número másico dos seus constituíntes seguindo a expresión: $A=4 \cdot n+m$; onde A é o número másico, n un número natural e m o resto resultante da división de A entre 4. Os núcleos pesados desintégrense, predominantemente, por emisión alfa (o que xustifica a redución sistemática do número másico en catro unidades) ou por emisión beta (que non afecta ó número másico).

A cuarta serie sería: $4n+1$: $^{237}\text{Np} \rightarrow ^{209}\text{Bi}$, non se atoparon na natureza ningún dos elementos desta serie, salvo o produto final, o ^{209}Bi .

2.2. Constante de desintegración, vida media e actividade.

No ano 1900, Rutherford suxeriu que o ritmo de emisión por parte dunha substancia radioactiva de partículas radioactivas diminuía exponencialmente co tempo, o que indica a aleatoriedade dos procesos radioactivos, é dicir, un núcleo atómico radioactivo permanece invariable antes os cambios do seu entorno, ata que chega un momento no que de forma imprevista desintégrese.

Esta aleatoriedade fai que estes procesos deban estudiarse estatisticamente baseándonos no cálculo de probabilidades.

Se no instante t existen N núcleos que aínda non se desintegraron dun elemento radioactivo, nun intervalo de tempo de t a $t + \Delta t$ o número medio de desintegracións será $dN = -\lambda N \cdot dt$ (indicando o signo negativo que o número de núcleos diminúe co tempo), isto é o

número de desintegracións é proporcional ao número de núcleos sen desintegrar.

$-\lambda = \frac{1}{N} \cdot \frac{dN}{dt}$ é a constante de desintegración ou constante radioactiva, e presenta unidades de inverso de tempo.

Sabemos que no instante inicial ($t=0$) o número de núcleos que non se desintegraron é N_0 , e que pasado un tempo t teremos N núcleos; integrando a expresión $\int_{N_0}^N dN = \int_0^t -\lambda N \cdot dt \Rightarrow \ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -\lambda \cdot t$, se quitamos o logaritmo e reordenamos os termos obteremos: $N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$ o que nos indica que o número de desintegracións diminúe expoñencialmente co tempo expresión completamente compatible coa predicción de Rutherford.

Defínese a actividade radioactiva coma o número de núcleos que se desintegran por unidade de tempo, e partindo da expresión anterior $dN = -\lambda N \cdot dt$, chegaremos a :

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda \cdot N = \lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \Rightarrow A = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

A actividade mídese en bequerels (Bq), é dicir desintegracións por segundo.

Chámase periodo de semidesintegración dun elemento ó tempo necesario para que o número dos seus núcleos activos se reduza á metade.

$$N = \frac{N_0}{2} \quad \text{cando} \quad t = T_{1/2} \Rightarrow \frac{N_0}{2} = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot T_{1/2}}, \quad \text{tomando logaritmos neperianos}$$
$$e^{-\lambda \cdot T_{1/2}} = \frac{1}{2} \Rightarrow T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda} \text{ (unidades de tempo).}$$

Denominamos vida media á inversa da constante radioactiva, e é o tempo que probablemente transcorra ate a desintegración dun núcleo.

Un caso especialmente popular da aplicación do anterior é a datación de restos polo método do carbono 14. O ^{14}C prodúcese nas capas altas da atmosfera e está presente no dióxido de carbono nunha proporción constante de $1,3 \cdot 10^{-12}$ núcleos de ^{14}C por cada núcleo de ^{12}C . Os seres vivos incorporan o ^{14}C no seu organismo durante toda a vida cesando esta incorporación coa morte, desta forma, ó medir a actividade dun resto orgánico podemos determinar o seu contido en ^{14}C e ao comparalo co dun organismo vivo datar a súa idade.

3. Forzas nucleares e enerxía de enlace no núcleo.

3.1. Forzas nucleares.

En 1897 Thompson descubriu o electrón e en 1911 Rutherford o núcleo positivo dos átomos, o que botou por terra o modelo de Dalton dun núcleo indivisible. En 1932 Chadwick descubriu os neutróns.

Os nucleóns están sometidos a forzas nucleares ou de interacción forte (neutrón-neutrón, neutrón-protón e protón-protón) que presentan as seguintes características:

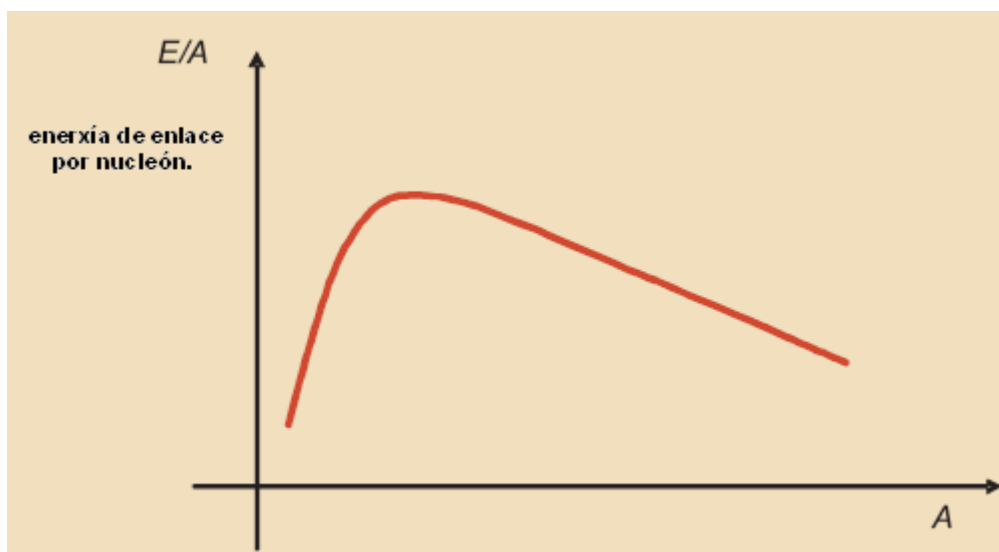
- Son sempre atractivas e a súa intensidade é da orde de cen veces maior que as forzas electromagnéticas entre cargas á mesma distancia.
- Satúranse, é dicir, cada nucleón parece estar so ligado a un número determinado de nucleóns veciños.
- Son de moi curto alcance, sendo a súa intensidade practicamente nula distancias superiores a 1 fm.

Chámamos enerxía de enlace á diferenza de masa entre o núcleo e a suma das masas dos seus nucleóns. Este defecto de masa tradúcese na enerxía que mantén unidos ós nucleóns, de forma que a maior enerxía de enlace maior será a estabilidade do núcleo.

3.2. Enerxía de enlace por nucleón.

Se restamos a masa do núcleo (M_n) á suma das masas dos seus protóns (m_p) e neutróns (m_n) obteremos unha diminución da masa Δm , a masa desaparecida converteuse en enerxía de enlace.: $\Delta m = (Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n) - M_n$

Se dividimos o valor da enerxía de enlace polo número másico obteremos o valor da chamada enerxía de enlace por nucleón.



Os núcleos de maior número másico teñen enlazados os seus nucleóns con menor enerxía que os de masas intermedias e os núcleos máis pequenos tamén presentan unha menor enerxía de enlace por nucleón que os intermedios; isto dá lugar a dúas formas de obter enerxía a partir das reaccións nucleares, a fisión nuclear de núcleos grandes ou a fusión nuclear de núcleos pequenos.

4. Reaccións nucleares.

As reaccións nucleares son reaccións nas que interveñen núcleos atómicos. Xeralmente, prodúcese ó bombardear a gran velocidade un núcleo con outros de menor tamaño ou partículas subatómicas.

A primeira reacción nuclear foi producida en 1919 por Rutherford ó bombardear nitróxeno 14 por partículas alfa: ${}^{14}_7N + {}^4_2He \rightarrow {}^{17}_8O + {}^1_1H$.

Observamos que nestas reaccións consérvase o número atómico e o número másico (a suma dos números atómicos e másicos dos reactivos é igual á dos produtos). Sirvan de exemplo do dito estas reaccións nucleares nas que empregamos diferentes partículas para bombardear ó núcleo:

- ${}^9_4\text{Be} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + {}^1_0\text{n}$
- ${}^{27}_{13}\text{Al} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{27}_{12}\text{Mg} + {}^1_1\text{H}$
- ${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow 2 {}^4_2\text{He}$
- ${}^{10}_5\text{B} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^7_3\text{Li} + {}^4_2\text{He}$

O emprego de partículas alfa e protóns como proxectís presenta unha desvantaxe evidente, son partículas cargadas positivamente que serán repelidas polo núcleo, os neutróns ó non posuír carga eléctrica poderán entrar facilmente no núcleo.

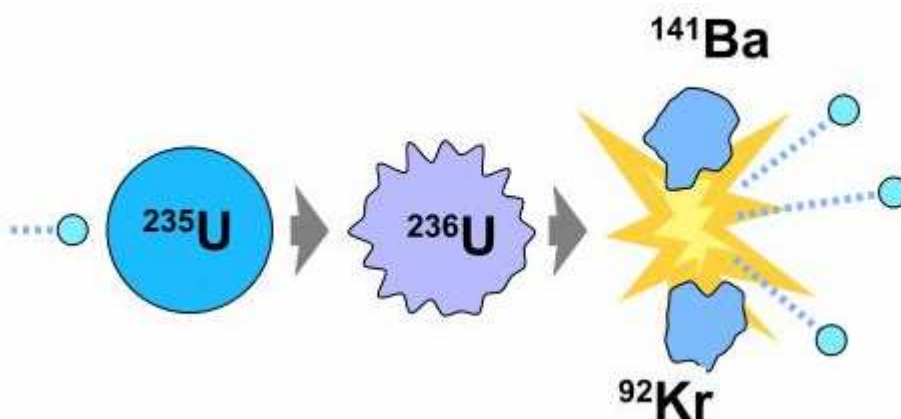
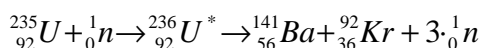
4.1 Fisión nuclear.

A fisión nuclear ocorre cando un núcleo pesado divídese en dous ou máis núcleos pequenos e outros subproductos (tales como neutróns, fotóns e partículas alfa ou beta). A fisión de núcleos pesados é un proceso altamente exotérmico o que fai dela unha alternativa realmente interesante para a xeración de enerxía eléctrica.

O proceso de fisión pode ser inducido por varios métodos, sendo o máis común o bombardeo do núcleo fisible cunha partícula da enerxía axeitada (normalmente un neutrón) o que dá lugar a dous núcleos e algúns neutróns e fotóns.

Os núcleos lanzados coma produtos de fisión poden ser de varios elementos químicos (dependendo do azar).

Na figura seguinte aparece representada unha das reaccións de fisión do uranio 235.



Licencia Wikimedia Commons

Falábamol de unha das reaccións de fisión do uranio 235 xa que este elemento pode partirse de a lo menos medio centenar de formas diferentes, sendo algunhas delas:

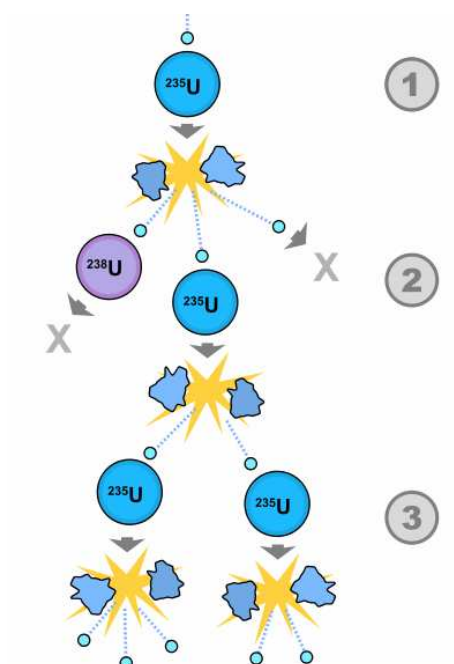
- ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{92}^{236}\text{U}^* \rightarrow {}_{54}^{140}\text{Xe} + {}_{38}^{94}\text{Sr} + 2 \cdot {}_0^1\text{n}$
- ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{92}^{236}\text{U}^* \rightarrow {}_{50}^{132}\text{Sn} + {}_{42}^{101}\text{Mo} + 3 \cdot {}_0^1\text{n}$
- ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{92}^{236}\text{U}^* \rightarrow {}_{53}^{137}\text{I} + {}_{39}^{97}\text{Y} + 2 \cdot {}_0^1\text{n}$

Estas reaccións desprenden o redor de 208 MeV por núcleo. Para que nos fagamos unha idea da magnitude desta enerxía dicir que a fisión de 1 g ${}^{235}\text{U}$ produce 24 MW·h.

Cando falamos de reaccións de fisión é importante ter en conta un fenómeno característico, a reacción en cadea. Unha reacción en cadea segue o seguinte proceso: a fisión dun núcleo empeza lanzando dous ou máis neutróns como subproductos; estes neutróns escápanse en direccións ó chou e golpea noutros núcleos, incitándoos a experimentar novas fisións. Debido a que cada acontecemento da fisión lanza dous ou máis neutrón se estes neutróns inducen noutras fisións o proceso acelérase rapidamente causando a reacción en cadea.

Existen substancias capaces de frear os neutróns emitidos de forma que sexa posible un control efectivo da reacción, estas substancias son os chamados moderadores, sendo os máis empregados a auga pesada, o berilio e o grafito.

Defínese como factor de multiplicación K dunha reacción nuclear ó cociente do número de protóns emitidos por unidade de tempo entre o número de neutróns absorbidos ou perdidos nesa unidade de tempo. Desta forma unha reacción será *subcrítica* se $K < 1$, *crítica* se $K = 1$ e *supercrítica* se $K > 1$.



Licencia Wikimedia Commons

Os produtos destas fisións son, xeralmente, radioactivos o que fai que estes subproductos requiran unha almacenaxe en condicións de alto illamento, soterrados a certas profundidades e recubertos de formigón.

As principais aplicacións destas reaccións de fisión son:

- Reactor nuclear: É un dispositivo que controla o crecemento da reacción en cadea e produce grandes cantidades de enerxía. En esencia unha central nuclear emprega a calor producida na reacción de fisión para xerar vapor de auga a presión, que ao expandirse na turbina do alternador produce enerxía eléctrica.
- Bomba atómica: É un dispositivo deseñado para provocar unha reacción de fisión en cadea supercrítica, ten o mesmo fundamento que un reactor nuclear, coa diferenza de que non se controla a reacción facéndose esta explosiva.

4.2 Fusión nuclear.

É aquela reacción nuclear na que dous núcleos de pequeno tamaño únense para dar lugar a un núcleo maior e o desprendemento dunha grande cantidade de enerxía de feito estas reaccións de fusión son as que teñen lugar no interior das estrelas

Como vimos cando estudiamos a enerxía de enlace por nucleón, son os núcleos de tamaño intermedio os máis estables (de maior enerxía de enlace por nucleón), o que fai lóxico que estas reaccións desprendan tanta enerxía.

Miremos o seguinte exemplo de reacción de fusión:

$4\cdot {}^1_1H \rightarrow {}^4_2He + 2\cdot {}^0_1e + \text{enerxía}$; Facendo o balance de masa da reacción temos:

$$4\cdot {}^1_1H \Rightarrow 4,03258u$$

$${}^4_2He \Rightarrow 4,00387u$$

$$\Delta m = 0,02871u \Rightarrow E = 0,02871u \cdot 931,2 \frac{\text{MeV}}{u} = 26,73\text{MeV}$$

Se tomásemos un gramo de hidróxeno e se consumisen todos eses protóns para formar helio a enerxía liberada sería de 55 Mw.h

As posibilidades da fusión nuclear como fonte de enerxía son impresionantes, e moi probablemente no futuro experimente un desenrolo espectacular, sen embargo a súa aplicación práctica, a día de hoxe, é unha quimera debido fundamentalmente a dous problemas, que en realidade é un. Para que dous núcleos se fusionen temos que acercalos moitísimo ata que choquen, pero ambos presentan unha carga negativa, polo que aparecerá unha forza repulsiva proporcional ó inverso da distancia que os separa (Lei de Coulomb), para vencer esa repulsión deberemos acelerar os núcleos a gran velocidade (para dotalos dunha gran enerxía cinética) o que supón un dobre problema, por unha banda non existen materiais capaces de reter núcleos lixeiros a tales temperaturas (débase recorrer ao confinamento magnético), por outra banda o aproveitamento da enerxía xerada é tan pouco eficaz que obtemos unha enerxía menor que a empregada para acelerar os núcleos. Todos eses problemas son puramente tecnolóxicos e de seguro quedarán resoltos nun futuro.

5. Aplicacións da radiación e riscos ambientais.

Ó longo do tema xa fomos mencionando algunha das aplicacións máis coñecidas das reaccións nucleares, algunhas delas de innegable valor para a nosa calidade de vida (coma a xeración de enerxía eléctrica), outras de indubidable valor científico (a datación por carbono 14) e algunhas de funesto resultado (a bomba atómica), pero sería recomendable citar algunhas utilidades, non tan coñecidas, pero de gran importancia:

- *En medicina:*
 - Localización e tratamento de tumores.
 - Detección de patoloxías glandulares.
 - Estudos da acción selectiva de antibióticos.
 - Estudos de fixación do calcio nos osos.

- *En bioloxía:*
 - Estudio da fotosíntese.
 - Produción de esterilidade en especies nocivas.
 - Estudos de emigración de aves, insectos...
- *En química e industria:*
 - Análise química.
 - Control de desgaste de materiais
 - Estudos de contaminación atmosférica.
 - Estudos de mecanismos de reaccións.

Desafortunadamente, coma pasa con todo, non só ía a haber vantaxes, as reaccións nucleares producen reaccións altamente ionizantes (fotóns, electróns, positróns, protóns, neutróns e partículas alfa) que danan os tecidos biolóxicos, provocando a ruptura de enlaces moleculares e alterando as funcións de macromoléculas vitais.

Os danos producidos poden ser de dous tipos xenéticos (cando afectan ás células reproductoras provocando alteracións na descendencia) e somáticos. (provocan dexeneracións cancerosas).

6. Partículas elementais e interaccións fundamentais.

Ó longo da historia da física existiron moitas partículas definidas no seu momento coma fundamentais (ou indivisibles), tales coma protóns ou neutróns, demostrándose máis adiante que non eran tal.

Foi no ano 1969 cando se tivo a primeira evidencia experimental da existencia dos quarks coma compoñentes dos protóns e dos neutróns. A estrutura interna dos protóns púxose en evidencia ó facer chocar protóns de alta enerxía e analizalos resultados.

A aparición dos aceleradores de partículas (mecanismos capaces de acelerar partículas subatómicas ata velocidades próximas á velocidade da luz facendo uso de potentes campos magnéticos) fixo posible a detección de centenaes de partículas novas, esta colección de novas partículas, cremos hoxe en día, está formada por quarks, antiquarks e leptóns.

O modelo estandar é un modelo cuántico que inclúe á teoría da interacción forte e a teoría unificada da interacción electrofeble (que inclúe á interacción nuclear feble e a síntese de Maxwell). A nivel descritivo o modelo Standard basease na existencia de tres compoñentes básicos: os fermións (quarks e leptóns) e os bosóns (fotóns, bosóns W, bosóns Z e gluóns).

En cada unha das interaccións fundamentais existen unhas partículas mediadoras que se intercambian no intre da interacción, así, por exemplo, os fotóns son as entidades intercambiadas entre cargas eléctricas que interactúan.

Denomínanse gluóns ás partículas mediadoras que dan lugar aos hadróns, e tanto

estes gluóns coma os quarks non poden existir libremente.

Quarks e leptóns están sometidos ó *Principio de Exclusión de Pauli*, (dúas destas partículas non poden ocupar o mesmo estado cuántico), e coma xa vimos denomínanse xenericamente *fermións*. Os *fermións* son basicamente partículas de materia, e a diferenza dos bosóns, non todos eles son partículas elementais.

Existen seis tipos de quarks que se combinan entre si para dar lugar a outras partículas, tamén existen seis tipos de leptóns, pero neste caso non se combinan entre si, por último existen tres tipos de partículas mediadoras das interaccións fundamentais.

Cada quark e leptón ten a súa correspondente antipartícula (da mesma masa que a partícula de referencia, pero de carga oposta). As partículas non cargadas tamén posúen a súa correspondente antipartícula.

As partículas formadas por conxuntos de quarks reciben diferentes nomes así chamaremos hadróns ás formadas por dous quarks, barións ás formadas por tres quarks e mesóns ás formadas por un quark e un antiquark.

Os leptóns, o igual que os quarks, son fermións (partículas de espín semienteiro) que non participan nas interaccións fortes, pero responden ás forzas electromagnéticas, forzas nucleares febles e forzas gravitatorias. A día de hoxe cremos que os leptóns non están formados por unidades de materia aínda menores, se pensa que son partículas fundamentais.

Aínda así o modelo Standard, que acabamos de presentar, presenta certas limitacións, algunhas delas extremadamente complexas:

- Non dar resposta a preguntas como: realmente son partículas fundamentais os quarks e os leptóns?
- Non sabemos encaixar a interacción gravitatoria no modelo Standard.