

Explicaciones de la carta de nucleidos

Generalidades

En esta carta, cada nucleido observado experimentalmente, está representado por un cuadrado que contiene el símbolo del elemento y el número de nucleones A. Los nucleidos están ordenados en la carta de tal modo que el número de protones respectivo, Z, está dado por la ordenada y el número de neutrones, $N = A - Z$, por la abscisa.

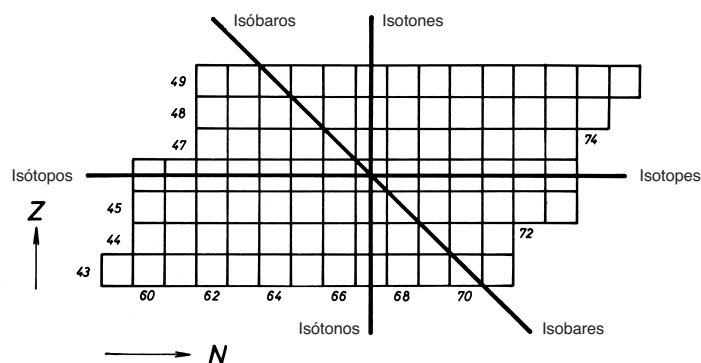
En la presente versión actualizada de la carta de nucleidos, la edición de 1998 de la «Karlsruhe Nuclide Chart» fue comparada con la evaluación efectuada por NUBASE [16] en el año 2003, con el objeto de establecer una lista de nucleidos que no estuvieron presentes en la edición de 1998. De esa lista hemos seleccionado sólo aquellos nucleidos que fueron medidos experimentalmente. En particular se han seleccionado aquellos nucleidos cuya vida media o masa fue determinada, o bien, nucleidos que pudieron ser identificados claramente. En los casos en que fue identificado un nucleido, pero su período de vida media no fue determinado, se indica un límite de detección del período de vida media (mayor o menor que un valor indicado).

Estados metaestables que no sufren una desintegración α o β o una fisión espontánea, o sea, que se desintegran sólo mediante la emisión de rayos gamma, fueron considerados únicamente si su período de vida media es mayor de un segundo. En los casos donde una emisión de partículas resulta de un estado de resonancia de nucleidos inestables, la anchura de la resonancia y el correspondiente período de vida media se indican usando la siguiente relación:

$$\Gamma_{c.m.} T_{1/2} \cong \hbar \ln 2, T_{1/2} (s) \cong 4.562 \times 10^{-22} / \Gamma_{c.m.} (\text{MeV})$$

Para los números de masa en el intervalo $A = 266 - 294$ hemos utilizado la última revisión de 2005 de «Nuclear Data Sheets» (hasta 12 de agosto del 2005) [17]. Para el período no cubierto por NUBASE, o sea, del 2003 hasta el verano del 2006, hemos tomado la información sobre los nucleidos de las «Nuclear Data Sheets» 100-107. Considerando, además, las publicaciones originales hasta el 2006. Al final de este folleto hay una lista completa de los nucleidos nuevos y actualizados, incorporados en la presente carta.

Las masas atómicas de los elementos y las abundancias de los isótopos fueron tomadas de J. R. De Laeter [18]. En el caso de isómeros que se desintegran exclusivamente por fisión espontánea, la carta no indica ningún dato de desintegración. El folleto contiene una tabla con los períodos de vida media (todos inferiores a 0,1 segundos), publicada originalmente por B. Singh [19]. Los rendimientos acumulados de la cadena provienen de R. W. Mills [20], las secciones eficaces proceden de N. E. Holden [21].



Explicación de la carte des nucléides

Généralités

Dans cette carte, chaque nucléide mis en évidence expérimentalement, est représenté par un carré contenant le symbole de l'élément et le nombre de nucléons A. Dans la carte, les nucléides sont disposés de sorte que le nombre de protons Z soit indiqué en ordonnée et le nombre de neutrons $N = A - Z$ en abscisse.

Pour la présente version, l'édition 1998 de la carte des nucléides de Karlsruhe a été comparée à l'évaluation NUBASE de 2003 [16] afin d'établir une liste des nucléides qui n'étaient pas présents dans l'édition antérieure. A partir de cette liste, nous avons sélectionné uniquement les nucléides qui ont été mis en évidence expérimentalement. Ont été sélectionnés, en particulier, les nucléides dont la demi-vie, ou bien la masse, a été mesurée, ou encore les nucléides qui ont été clairement identifiés. Lorsqu'un nucléide a été identifié, mais sa demi-vie n'a pas été mesurée, une limite de détection pour la demi-vie est donnée (supérieure ou inférieure à une certaine valeur).

Les états métastables se désintégrant exclusivement vers l'état fondamental du même nucléide (donc ni par désintégration α ou β , ni par fission spontanée) ne figurent dans la carte que si leur période de demi-vie est supérieure à 1s. Lorsque l'émission d'une particule résulte d'un état de résonance d'un noyau instable, sont indiquées, à la fois, la largeur de la résonance et la demi-vie correspondante, liées par la relation suivante:

$$\Gamma_{c.m.} T_{1/2} \cong \hbar \ln 2, T_{1/2} (s) \cong 4.562 \times 10^{-22} / \Gamma_{c.m.} (\text{MeV})$$

Pour les masses situées dans la plage $A = 266 - 294$, nous avons utilisé les données les plus récentes publiées dans «Nuclear Data Sheets» (jusqu'au 12 août 2005) [17]. En ce qui concerne la période qui n'a pas été prise en compte par NUBASE, à savoir de 2003 jusqu'à l'été 2006, les informations sur les nucléides sont extraites des «Nuclear Data Sheets» 100-107. De plus, les publications originales ont été prises en compte jusqu'à l'été 2006. Une liste complète des nouveaux nucléides et des mises à jour effectuées dans la présente version de la carte est présentée plus loin dans cette brochure.

Les masses atomiques des éléments et les abundances isotopiques sont extraites de J. R. De Laeter [18]. Les données de désintégration ne sont pas indiquées pour les isomères qui ne se désintègrent que par fisión spontanée. Un tableau des demi-vies (toutes inférieures à 0,1 s), de B. Singh [19], est contenu dans la brochure. Les rendements de chaîne de produits de fission proviennent de R. W. Mills [20] et les sections efficaces de réactions neutroniques proviennent de N. E. Holden [21].

- [16] G. Audi, O. Bersillon, J. Blachot and A.H. Wapstra, The NUBASE evaluation of nuclear and decay properties, Nuclear Physics A, 2003, 729, 3 (2003).
- [17] M. Gupta and T. W. Burrows, Nuclear Data Sheets 106, 251 (2005).
- [18] J. R. De Laeter, J. K. Bohlke, P. De Bièvre, H. Hidaka, H. S. Peiser, K. J. R. Rosman, and P. D. P. Taylor, Atomic Weights of the Elements: Review 2000, Pure & Appl. Chem., 75, 683 (2003).
- [19] B. Singh, R. Zywina, and R. Firestone, Table of Superdeformed Nuclear Bands and Fission Isomers, 3rd Edition, Nuclear Data Sheets 97, 241 (2002).
- [20] A. Koning, R. Forrest, M. Kellett, R. Mills, H. Henriksson, Y. Rugama "JEFF Report 2.1: The JEFF-3.1 Nuclear Data Library". OECD/NEA Report to be published. See also R. W. Mills "Fission Product Yield Evaluation", Thesis, 1995, The University of Birmingham, UK.
- [21] N. E. Holden, Neutron Scattering and Absorption Properties, Handbook of Chemistry and Physics on CD-ROM, version 2006, 11-185, Ed. D.R. Lide, CRC Press, Boca Raton, Florida.

Modos de desintegración: Colores y símbolos

Nucleidos estables

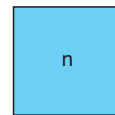
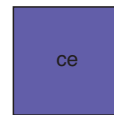
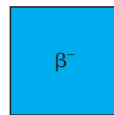
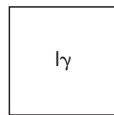
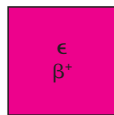
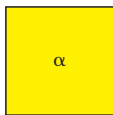
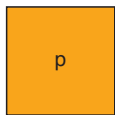


Radionucleidos primordiales, es decir, aquéllos que se originaron en la formación de la materia terrestre y que hoy aún existen.

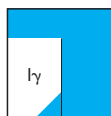


Los modos de desintegración están representados por colores específicos.

- p: Emisión de protones
- α : Desintegración alfa
- ϵ : Captura de electrones
- β^+ : Emisión de positrones
- γ : Transición isomérica
- β^- : Emisión de negatrones
- sf: Fisión espontánea
- ce: Emisión de partículas complejas, p. ej. C 14, Ne 20
- n: Emisión de neutrones



Los datos que aparecen en la columna izquierda se aplican a los estados metaestables, los de la columna derecha son para el estado fundamental; γ denota los fotones gamma que se originan durante la desintegración al estado fundamental del mismo nucleido (desintegración isomérica).



Les indications figurant dans la partie gauche concernent l'état métastable et celles dans la partie droite l'état fondamental. γ dénote les photons γ produits pendant la désintégration vers l'état fondamental du même nucléide (transition isomérique).

La asignación de las propiedades de desintegración al estado metaestable o al estado fundamental es dudosa.



L'attribution des propriétés de désintégration à un état métastable ou à l'état fondamental est incertaine.

Uno o más isómeros de vida corta para los que únicamente se ha observado desintegración por fisión espontánea están caracterizados por una barra verde vertical.



Les états à vie courte, pour lesquels seule une désintégration par fission spontanée a été observée (isomères se désintégrant par fission spontanée), sont indiqués par une barre verticale verte.

Emisión de fotones gamma γ ; estos figuran siempre junto con el respectivo nucleido padre.

γ

Emission de photons γ ; toujours indiquée avec le nucléide père correspondant.

Emisión de las partículas especificadas, o fisión espontánea, a partir de un estado excitado del nucleido hijo que ha sido poblado por desintegración beta β («emisión de partículas, o fisión, beta-retardada»).

$\beta xp; \beta xn;$
 $\beta d; \beta t;$
 $\beta x\alpha; \beta sf$

Désintégration β suivie de l'émission des particules spécifiées ou suivie de fission spontanée (émission des particules retardées par désintégration β ou fission retardée par désintégration β).

Emisión simultánea de dos partículas beta («Desintegración doble beta», p. ej. Te 130 \rightarrow Xe 130).

$2\beta^-$

Emission simultanée de deux particules β (« désintégration double β », ex : Te 130 \rightarrow Xe 130).

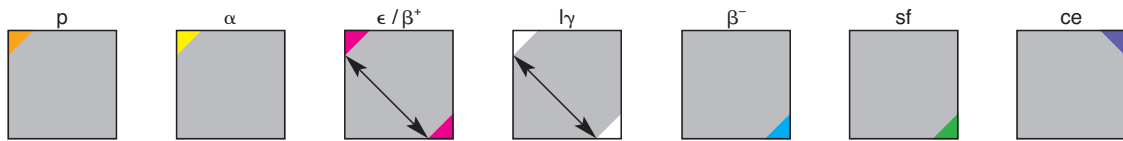
Emisión de la partícula especificada a partir de un nucleido inestable. La emisión simultánea de dos partículas sólo se indica si la emisión de una sola partícula no es posible por motivos energéticos (p. ej. Be 6 \rightarrow 2p).

p; n
2p; 2 α

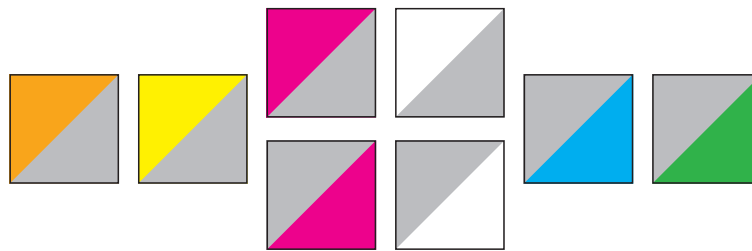
Emission des particules respectives à partir d'un nucléide instable. Une émission simultanée de deux particules n'est mentionnée que lorsque l'émission d'une seule particule peut être exclue pour des raisons énergétiques (ex : Be 6 \rightarrow 2p).

Modos de desintegración múltiple y relación de ramificación

La relación de ramificación de los modos de desintegración está indicada por medio de tres distintos tamaños de las secciones coloreadas, y por la secuencia de símbolos. Los modos de desintegración puros se representan por medio de un solo color (ver la sección anterior). Los modos de desintegración combinada están simbolizados por el empleo de triángulos de color. Como se muestra en la figura, un triángulo de color pequeño en la esquina superior izquierda o inferior derecha indica una relación de ramificación de $\leq 5\%$ para este tipo de desintegración (en cambio, el tipo de desintegración principal presenta una relación de ramificación de $\geq 95\%$). Los triángulos pequeños que representan una emisión de protones o partículas alfa se encuentran siempre en la esquina superior izquierda (los dos primeros cuadrados). Los triángulos que corresponden a una emisión β^- o una fisión espontánea se hallan siempre en la esquina inferior derecha. Los triángulos que representan la emisión ϵ/β^+ o I_γ se pueden encontrar ya sea en la esquina superior izquierda o inferior derecha, según cuál sea el tipo de desintegración principal. En el caso de una emisión ϵ/β^+ hay un triángulo rojo en la esquina inferior derecha si el tipo de desintegración principal corresponde a una emisión de partículas alfa o protones. De otro modo, el triángulo rojo se encuentra en la esquina superior izquierda. Tratándose de transiciones isoméricas I_γ , el triángulo blanco se encuentra en la esquina inferior derecha, si el tipo de desintegración principal corresponde a una emisión de partículas alfa o de protón o ϵ/β^+ , de otro modo estará en la esquina superior izquierda. Las emisiones de partículas complejas están indicadas siempre por un triángulo pequeño situado en la esquina superior derecha. Por tanto, la ubicación de los triángulos pequeños es la siguiente:



Si la relación de ramificación del tipo de desintegración secundaria se encuentra dentro de un intervalo entre 5 y 50% (implicando que la relación de ramificación del tipo de desintegración principal está en el intervalo de 50 - 95%), el cuadrado será dividido por una línea diagonal que une la esquina inferior izquierda con la esquina superior derecha. La ubicación de los triángulos grandes es similar a lo que se ha descrito anteriormente.



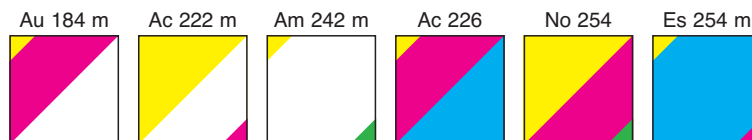
En algunos casos son posibles tres modos de desintegración. A continuación se indicarán algunos ejemplos.

Modes de désintégration multiples et rapports d'embranchement

Les rapports d'embranchement des modes de désintégration peuvent être indiqués par 3 tailles différentes des aires colorées ainsi que par la succession des symboles. Les modes de désintégration purs sont indiqués par une couleur unique (voir la partie précédente). Les modes de désintégration mixtes sont indiqués par l'utilisation de triangles de couleur. Un petit triangle de couleur, dans l'angle supérieur gauche ou dans l'angle inférieur droit, indique un rapport de branchement pour ce mode de moins de 5% (inversement, le mode principal de désintégration a un rapport d'embranchement de plus de 95%), tel qu'indiqué sur la figure. Les petits triangles représentant l'émission proton ou alpha sont toujours dans l'angle supérieur gauche (deux premières cases). Les triangles pour les émissions β^- et la fission spontanée sont toujours en bas à droite. Les triangles représentant ϵ/β^+ ou I_γ peuvent être en haut à gauche ou en bas à droite, selon le mode principal. Pour ϵ/β^+ , le triangle rouge est en bas à droite si le mode majeur est l'émission alpha ou proton. Sinon, le triangle rouge est dans l'angle supérieur gauche. Pour la transition isomérique I_γ , un triangle blanc est en bas à droite si le mode majeur est l'émission alpha ou proton ou ϵ/β^+ , sinon, il est dans l'angle supérieur gauche. L'émission d'agrégat est toujours indiquée à l'aide d'un petit triangle dans l'angle supérieur droit. Ainsi, les petits triangles sont placés comme suit :

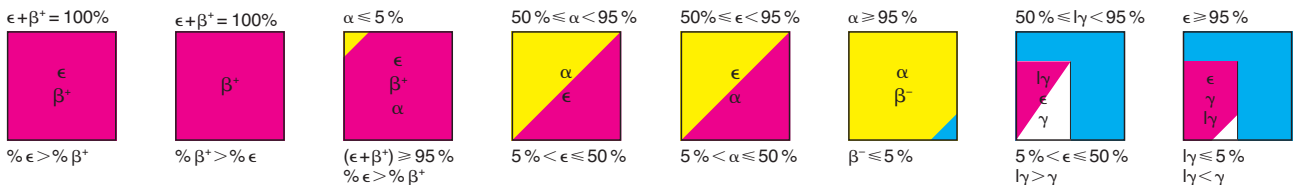
Si le rapport d'embranchement du mode principal de désintégration est situé dans la plage allant de 5 à 50% (impliquant un rapport d'embranchement pour le mode principal situé dans une plage de 50 à 95%), la case est divisée en deux par un lien en diagonale, reliant l'angle inférieur gauche et l'angle supérieur droit. L'emplacement des grands triangles est similaire à ce qui est décrit ci-dessus.

Dans certains cas, trois modes de désintégration sont possibles. Quelques exemples sont indiqués ci-dessous.



Ejemplos :

Exemples :



Los símbolos para los modos de desintegración por emisión de partículas están ordenados según su relación de ramificación, con la más alta relación en primer lugar, seguidos de los fotones gamma y los electrones de conversión. Los datos para desintegración isomérica están ordenados correspondiendo a su relación de ramificación. La emisión de partículas betaretardadas o fisión (β_n , β_p , β_{sf}) aparece antes o después de los fotones gamma, según su intensidad.

Para un determinado tipo de radiación, los valores de la energía están ordenados según la intensidad relativa (en orden decreciente) de la respectiva radiación. Para la desintegración β se utiliza una regla algo diferente (ver abajo).

Puntos suspensivos denotan otras transiciones del mismo tipo con una intensidad más pequeña.

Energías están indicadas en keV para fotones gamma y en MeV para toda clase de partículas. Un símbolo de radiación sin indicación de una energía denota que se produce la radiación, pero que su energía no fue medida.

Energía máxima de la transición β más frecuente. En el caso de que haya otras transiciones con mayor energía, el segundo valor indica la mayor energía máxima observada.

Transiciones β de energía conocida, para las cuales la suma de sus abundancias es inferior al 1%.

La captura de electrones está indicada, sólo si es más probable que la desintegración β^+ .

Energías de partículas ordenadas de acuerdo con la probabilidad decreciente de las respectivas transiciones. Se indica por lo menos una energía, aunque la probabilidad para la transición más frecuente sea inferior al 1%.

Energías de los fotones gamma más frecuentes ordenados de acuerdo con intensidades decrecientes. Para las intensidades inferiores al 1%, los valores de la energía están indicados entre paréntesis.

Las energías γ con un asterisco designan transiciones después de la emisión de partículas betaretardadas.

Varios fotones gamma de intensidades desconocidas dentro del intervalo de energías 291-1319 keV.

Los electrones de conversión sólo están indicados si son más frecuentes que los fotones gamma. Las energías no están indicadas.

Secciones eficaces

Todos las secciones eficaces están indicadas en barn (10^{-24} cm^2) y se refieren a reacciones con neutrones térmicos (0.0253 eV).

Sección eficaz para la reacción (n, γ). Si se indican dos valores, entonces el primero se refiere a la formación del núcleo del producto en el estado metaestable, y el segundo a la formación en el estado fundamental.

Sección eficaz de fisión

Sección eficaz para la reacción (n, p)

Sección eficaz para la reacción (n, α)

Sección eficaz de absorción

Otros símbolos y abreviaturas

Rendimiento de la cadena (%) para la fisión con neutrones térmicos de U 235, encima y Pu 239, bajo de la línea de la flecha.

Los nucleidos con capas de neutrones o protones completas están caracterizados por líneas horizontales o verticales gruesas.

Los símbolos «m» y/o «g» denotan que el respectivo estado metaestable y/o fundamental del nucleido hijo está poblado. Los símbolos aparecen en orden de abundancia decreciente. Transiciones con probabilidades inferiores al 5% no están representadas. Subíndices en «m», p. ej. m_1 , m_2 , se utilizan para caracterizar diferentes estados metaestables (siendo m_2 un estado de energía más alta que m_1).

Datos o asignación dudosos.

Nanosegundo, microsegundo, milisegundo, segundo, minuto, hora, día, año.

...

β^+ 2.7...
 β^- 1.2; 1.9...

β^- ...
 β^+ ...

ϵ

α 3.75; 4.43...
p 1.56
 βp 4.5

γ 815, 1711...
 γ (1340)

γ 815*

γ 291-1319

e^-

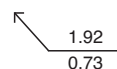
σ

σ_f

$\sigma_{n,p}$

$\sigma_{n,\alpha}$

σ_{abs}



m; g

?

ns, μ s, ms, s,
m, h, d, a

Les symboles pour les modes de désintégration avec émission de particules sont ordonnés selon le rapport d'embranchement avec le rapport d'embranchement le plus élevé d'abord, suivi par les photons γ et les électrons de conversion. Les données relatives à la transition isomérique sont indiquées selon le rapport d'embranchement du mode de désintégration. Les particules ou fission β retardées (β_n , β_p , β_{sf}) précèdent ou suivent les photons γ selon leur intensité relative respective. Pour une désintégration donnée, les énergies fournies sont classées par ordre décroissant de leur probabilité d'émission respective. Dans le cas d'une désintégration β , une règle quelque peu différente est utilisée (voir ci-dessous).

Les points indiquent d'autres transitions du même type avec des intensités plus basses.

Les énergies sont exprimées en keV pour les photons γ et en MeV pour les autres particules. Un symbole de désintégration sans indication d'énergie signifie que la désintégration a été observée mais que son énergie n'a pas été mesurée.

Energie maximale de la transition β la plus fréquente. Si d'autres transitions avec des énergies supérieures existent, la plus grande énergie maximale observée est donnée en plus comme deuxième valeur.

Transition β d'énergie connue dont la somme des probabilités de transition est inférieure à 1%.

La capture d'électrons n'est indiquée que lorsqu'elle est plus probable que la désintégration β^+ .

Energies des particules dans l'ordre décroissant des rapports d'embranchement. Au moins une valeur est indiquée même si la probabilité de transition la plus fréquente est inférieure à 1%.

Energies des photons γ les plus fréquents dans l'ordre décroissant des probabilités d'émission. Les probabilités inférieures à 1% sont indiquées entre parenthèses.

Les énergies γ suivies par un astérisque indiquent des transitions qui suivent une émission de nucléons β -retardée.

Plusieurs photons γ aux intensités inconnues se situant dans l'intervalle d'énergies entre 291-1319 keV.

Les électrons de conversion ne sont indiqués que s'ils sont plus probables que les photons γ . Les énergies ne sont pas indiquées.

Sections efficaces

Toutes les sections efficaces sont exprimées en barn (10^{-24} cm^2) et sont valables pour les réactions avec des neutrons thermiques (0.0253 eV).

Section efficace pour la réaction (n, γ). Si deux valeurs sont indiquées, la première concerne la formation du noyau du résiduel à l'état métastable, et la deuxième concerne la formation à l'état fondamental.

Section efficace de fission

Section efficace pour la réaction (n, p)

Section efficace pour la réaction (n, α)

Section efficace d'absorption

Autres abréviations et symboles

Rendement de chaîne (%) lors de la fission thermique de U 235 (au dessus de la ligne fléchée) et de Pu 239 (au dessous de la ligne fléchée).

Les nucléides ayant une couche complète de neutrons ou de protons sont indiqués par des lignes d'encadrement horizontales ou verticales épaisses.

Les symboles «m» et/ou «g», indiquent que l'état métastable et/ou l'état fondamental, du nucléide fils se voit peuplé. Les symboles sont donnés dans l'ordre décroissant de probabilité. Les probabilités de désintégration inférieures à 5% ne sont pas indiquées. Les indices ajoutés à «m», ex : m_1 , m_2 , sont utilisés pour désigner différents états métastables (avec m_2 étant un état d'énergie plus élevée que m_1).

Données ou attributions incertaines.

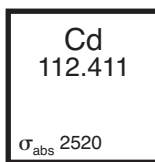
Nanoseconde, microseconde, milliseconde, seconde, minute, heure, jour, année.

Disposición de los símbolos y datos

Elementos

Símbolo del elemento
Peso atómico estándar con relación a C 12 = 12

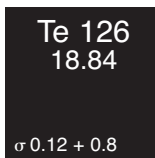
Sección eficaz de absorción para neutrones térmicos (barn)



Nucleidos estables

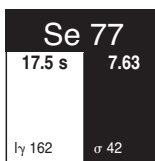
Símbolo del elemento, número de nucleones
Abundancia isotópica en el elemento natural (átomo %)

Sección eficaz (n, γ) para la formación del estado metaestable y el estado fundamental del elemento Te 127 con neutrones térmicos (barn)



Símbolo del elemento, número de nucleones
Columna izquierda: Período de vida media del estado metaestable; Energía γ de la transición isomérica (keV)

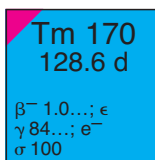
Columna derecha: Abundancia isotópica en el elemento natural (átomo %)
Sección eficaz (n, γ) para neutrones térmicos (barn)



Nucleidos inestables

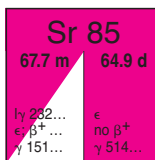
Símbolo del elemento, número de nucleones
Período de vida media

Modos de desintegración, energía máxima de la radiación β^- (MeV)
energía γ (keV), electrones de conversión, sección eficaz (n, γ) (barn)



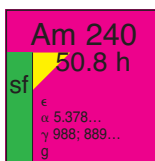
Símbolo del elemento, número de nucleones
Períodos de vida media

Ambos estados se desintegran por captura de electrones; el estado metaestable se desintegra al estado fundamental con una relación de ramificación para I_γ en el rango 50% – 95%

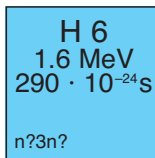


Símbolo del elemento, número de nucleones
Columna izquierda: Isómero de fisión espontánea, $T < 0.1$ seg.

Columna derecha: Datos de desintegración «g» significa que el hijo Pu 240g se forma hasta al menos el 95%; la abundancia de Pu 240m puede alcanzar hasta el 5%



Donde la emisión de una partícula resulta de un estado de resonancia en un núcleo inestable, se indican tanto la anchura de resonancia Γ (MeV) como el período de vida media $T_{1/2}$



Disposition des symboles et données

Éléments

Symbole de l'élément
Masse atomique standard dans le système C 12 = 12

Section efficace d'absorption des neutrons thermiques (barn)

Nucléides stables

Symbole de l'élément et nombre de nucléons
Teneur isotopique naturelle en pourcent atomique

Sections efficaces (n, γ) de formation de l'état métastable et de l'état fondamental de Te 127 pour les neutrons thermiques (barn)

Symbole de l'élément et nombre de nucléons
Côté gauche : demi-vie de l'état métastable ;
Energie du photon γ (keV) émis lors de la transition isomérique

Côté droit : teneur isotopique naturelle en pourcent atomique ;
section efficace (n, γ) pour les neutrons thermiques (barn)

Nucléides instables

Symbole de l'élément et nombre de nucléons
Demi-vie

Modes de désintégration et énergie maximale du rayonnement β (MeV)
Energie γ (keV), électrons de conversion, Section efficace (n, γ) (barn)

Symbole de l'élément et nombre de nucléons
Demi-vies

Les deux états se désintègrent par capture d'électrons ; l'état métastable se désintègre vers l'état fondamental avec un rapport d'embranchement pour I_γ situé dans la plage allant de 50% à 95%

Symbole de l'élément et nombre de nucléons
Côté gauche : isomère se désintégrant par fission spontanée, $T < 0.1$ s
Côté droit : données de désintégration «g» indique que le descendant Pu 240g se forme au moins à 95%; l'état métastable Pu 240m peut être présent dans des proportions pouvant atteindre 5%

Lorsque l'émission d'une particule résulte d'un état de résonance dans un noyau instable, la largeur de résonance Γ (MeV) ainsi que la demi-vie $T_{1/2}$ sont indiquées