

Structure nucléaire - Noyaux très riches en neutrons

*J.-A. Pinston, J. Genevey, G. Simpson.
LPSC Grenoble, ILL et Université de Varsovie.*

The region of neutron-rich nuclei near $A = 100$ is investigated, using a combination of two experimental techniques, prompt γ -ray spectroscopy of the spontaneous fission of ^{248}Cm , using the EUROGAM 2 multi-detector and μs isomers produced by fission of $^{239,241}\text{Pu}$ with thermal neutrons of the ILL reactor in Grenoble. The aim of this work is to study the origin of the nuclear deformation and nature of shape-coexistence mechanism in this region. The structure of the odd-odd ^{96}Rb nucleus is shown as an example.

◇ Étude de la déformation dans les noyaux très riches en neutrons proches de $A = 100$

Les noyaux très riches en neutrons proches de $A = 100$ sont particulièrement intéressants pour étudier l'origine de la déformation nucléaire et les phénomènes de coexistence de formes. En effet, dans cette région peu de niveaux sont actifs et la déformation est fortement conditionnée par l'occupation des seuls états de Nilsson provenant des orbites à parité unique $\pi g_{9/2}$ pour les protons, et $\nu g_{9/2}$ et $\nu h_{11/2}$ pour les neutrons. Cette situation conduit à des phénomènes uniques dans toute la carte des isotopes. Ainsi, les noyaux pairs-pairs qui sont encore sphériques pour un nombre de neutrons $N = 58$, deviennent soudainement très déformés à partir de $N = 60$ et la déformation prend immédiatement la valeur maximum de la région, $\beta = 0,41$. À la transition, pour $N = 59$, trois formes coexistent : les états les plus bas en énergie sont sphériques, à 500 keV environ apparaissent des bandes de déformation intermédiaire $\beta = 0,32$ et à 1 MeV nous avons observé une bande de déformation maximum, $\beta = 0,41$ pour ^{97}Sr et ^{99}Zr . Cette situation contraste fortement avec la région des lanthanides où la déformation évolue beaucoup plus lentement dans la région de transition.

Les noyaux de la région d'intérêt sont très difficiles à produire, parce qu'ils sont très loin de la ligne de stabilité et ce n'est que très récemment qu'il a été possible d'étudier ces noyaux sur une large région de moments angulaires. Nous utilisons deux méthodes complémentaires pour les produire :

- la fission induite par des neutrons thermiques à l'ILL sur des cibles de $^{239,241}\text{Pu}$. Dans ce cas, les produits de fission sont analysés en A et Z par le spectromètre LOHENGRIN. Par cette méthode nous n'étudions que les noyaux qui ont un état isomérique de période supérieure à 0,5 μs environ et nous mesurons l'émission γ et les électrons de conversion émis par ces isomères ;
- la fission spontanée de ^{248}Cu . Les γ prompts sont détectés avec EUROGAM 2, comprenant 52 gros Ge avec un bouclier anti-Compton et quatre LEPS pour la mesure des X et des γ de basse énergie. Une très grande base de données a été construite pour des noyaux de masses comprises entre $A = 70$ et 160 environ.

Les noyaux très riches en neutrons proches de $A = 100$ permettent d'étudier l'apparition et l'évolution des déformations axiales et triaxiales, ainsi que les phénomènes de coexistence de formes. À titre d'exemple nous avons reporté sur la figure 1 le schéma de désintégration d'un isomère de 2 μs et de spin 10^- de ^{96}Rb , que nous avons mesuré à LOHENGRIN. C'est la première fois que des informations spectroscopiques ont pu être obtenues pour ce noyau et c'est aussi un des seuls noyaux impairs-impairs observés dans cette région. Ce noyau avec $N = 59$ neutrons présente des phénomènes de coexistence de formes étonnants : les états de basse énergie et l'état isomérique 10^- sont sphériques, par contre à 462 keV on observe une bande de rotation bien développée. En fait, dans ce noyau la tête de bande et l'isomère 10^- ont la même structure, correspondant au couplage des orbites à parité unique $\pi g_{9/2}$ et $\nu h_{11/2}$. En conséquence, dans le même noyau la même configuration est présente sous une forme sphérique et déformée. La présence d'un isomère yrast non déformé en compétition avec des états déformés est la conséquence d'une interaction n-p fortement attractive pour l'état aligné 10^- . Cette interaction est causée par un neutron et un proton dans des orbites coplanaires et ayant des moments angulaires élevés. Ce résultat illustre parfaitement le rôle important des états à parité unique dans cette région.

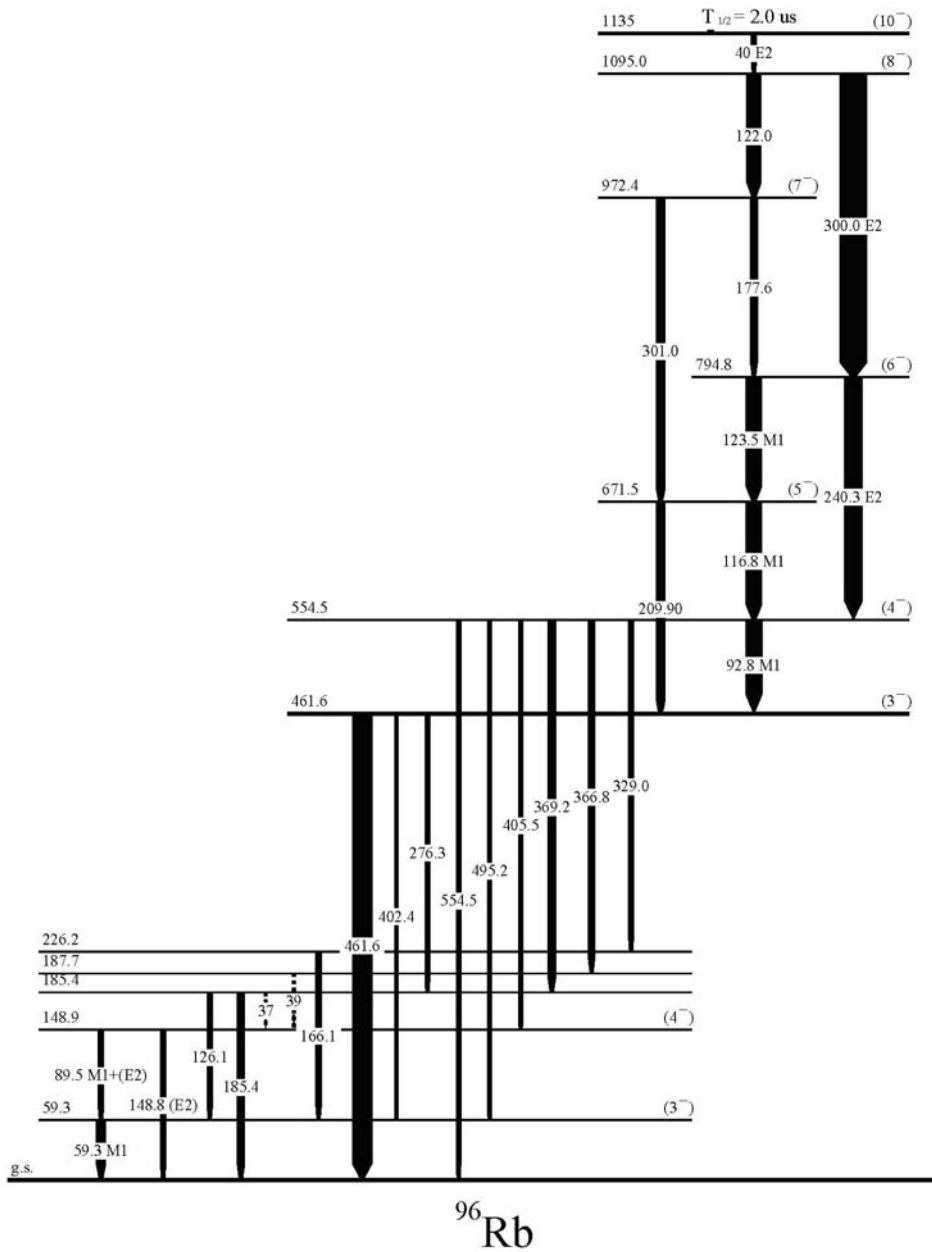


Figure 1 : Schéma de niveau de l'isomère de ^{96}Rb . Les états de basse énergie sont sphériques ainsi que l'isomère 10^- . Ces niveaux coexistent avec une bande de rotation bien développée et bâtie sur l'état de 462 keV.

Spectroscopie des In lourds proches de ^{132}Sn

J.-A. Pinston, J. Genevey, G. Simpson.

LPSC Grenoble, ILL, Université de Naples et Université de Varsovie.

Microsecond isomers in the In isotopes, in the mass range $A = 123-130$, were investigated at the ILL reactor using the LOHENGRIN mass spectrometer, through thermal neutron induced fission reactions of Pu targets. The level schemes of the odd-mass $^{123-129}\text{In}$ are reported. A shell model study of the heaviest In and Cd nuclei was performed using a realistic interaction derived from the CD-Bonn N-N potential.

Les noyaux proches de ^{132}Sn sont particulièrement intéressants parce qu'ils sont à la fois proches d'un noyau doublement magique et situés très loin de la ligne de stabilité. Cette situation permet à la fois de tester les modèles existants et de tenter de déceler une possible diminution des effets de couches pour certains noyaux de cette région. Le second point est de grande importance non seulement en physique nucléaire mais aussi en astrophysique, où les propriétés de ces noyaux permettent de modéliser le processus rapide de nucléosynthèse. Bien que la production de ces noyaux soit extrêmement difficile, des progrès importants ont été réalisés récemment. Cependant, la structure nucléaire des Sb et Te au dessus de la couche fermée $Z = 50$ est beaucoup mieux connue que celle des In et Cd, situés en dessous de la couche et donc encore plus difficiles à produire [1]. Les schémas [2] des $^{123-129}\text{In}$ reportés sur la figure 1 sont la synthèse de différents travaux : mesure d'isomères avec le spectromètre OSIRIS à Studsvik et d'isomères μs avec le spectromètre FRS de GSI ou LOHENGRIN de l'ILL. La caractéristique principale de ces schémas est l'abondance extraordinaire d'états isomériques dans le domaine de la ms et μs . Cette isométrie a pour origine principale la présence des orbites à parité unique $\pi g_{9/2}$ et $\nu h_{11/2}$ de spins élevés, près du niveau de Fermi. La très forte interaction n-p entre ces états produit la ligne yrast très perturbée qui est observée, principalement pour ^{129}In .

Les calculs de modèle en couches réalisés par nos collègues de l'université de Naples utilisent des interactions effectives réalistes déduites du potentiel CD-Bonn, qui reproduit avec précision l'interaction nucléon-nucléon libre. La théorie est en bon accord avec l'expérience pour ^{129}In et en particulier les isomères sont tous bien reproduits (voir figure 2). Ce résultat montre que les interactions n-p sont bien calculées par le modèle. Par contre l'accord se dégrade pour les In plus légers et l'isomère $29/2^+$ de ^{127}In n'est pas reproduit par le modèle. Il semble que le modèle surestime la diminution de l'interaction n-p lorsque le nombre de neutrons décroît. L'origine du désaccord observé n'a pas encore été élucidée.

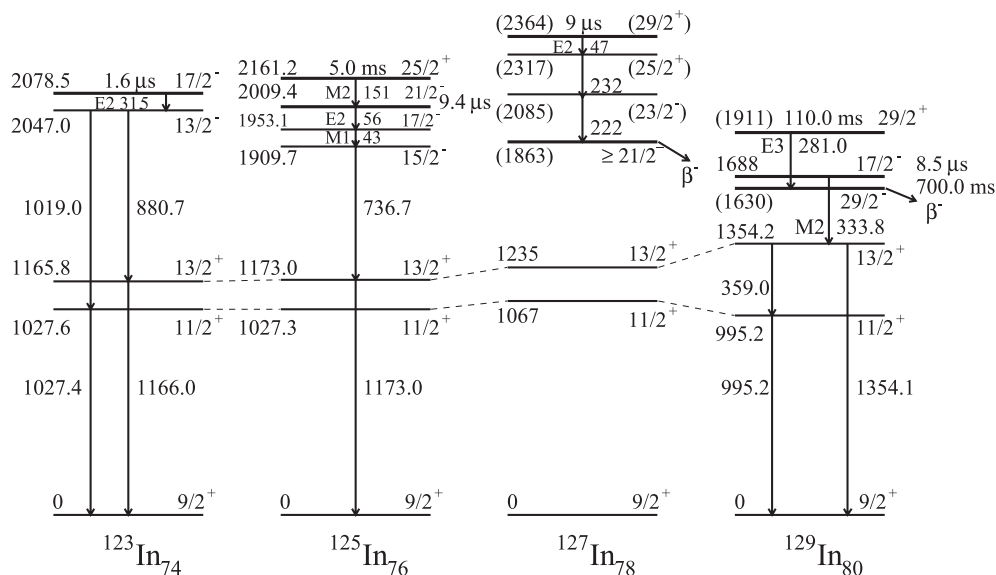


Figure 1 : Schémas de niveaux des $^{123,125,127,129}\text{In}$. Il est intéressant de remarquer les nombreux isomères de natures différentes présents dans ^{129}In .

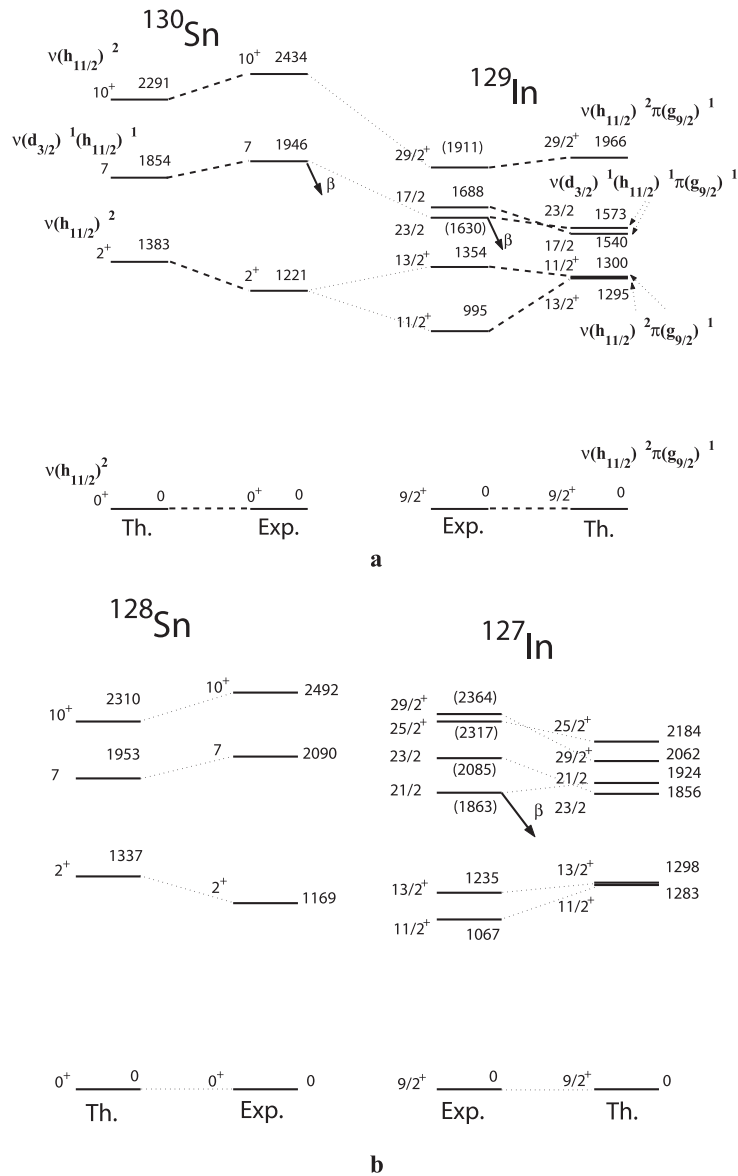


Figure 2 : Comparaison des énergies expérimentales et calculées pour ^{129}In et ^{130}Sn (a), et pour ^{127}In et ^{128}Sn (b).

[1] J.-A. Pinston et J. Genevey, J. Phys. 30R (2004) 57-82.
 [2] A. Scherillo *et al.*, Phys. Rev. C70 (2004) 054318.

Étude des noyaux de tellure riches en neutrons par spectroscopie laser

J. Genevey.

LPSC Grenoble, IPN Orsay, Laboratoire Aimé Cotton (Orsay), CERN, Universités de McGill (Canada), Mayence (Allemagne) et New York (USA).

Laser spectroscopy measurements have been carried out on the very neutron-rich tellurium isotopes with the COMPLIS experimental setup. Using the $5p^4 \ ^3P_2 \rightarrow 5p^3 \ 6s \ ^3S_1$ optical transition of 214,35 nm, the hyperfine spectra of $^{127-136}\text{Te}$ ground states and $^{123,125,127,129,131,133}\text{Te}$ isomeric states were recorded by Resonant Ionization Spectroscopy (RIS) process on laser-desorbed atoms. The variation of the mean square charge radius $\delta \langle r^2 \rangle$ between these nuclei was obtained from the isotope shift and the nuclear moments of the odd isotopes from the hyperfine structure. The analysis of the results is in progress. Preliminary $\delta \langle r^2 \rangle$ values have been obtained for the even-even isotopes. It results that the kink at $N = 82$ remains in Te, i.e. in an isotopic series with a proton number ($Z = 52$) very close to the magic number $Z = 50$.

Les noyaux de tellure riches en neutrons appartiennent à une région d'instabilité de formes située juste au-dessus de la couche $Z = 50$ [1-3]. Les mesures de spectroscopie laser donnent accès aux moments magnétiques (μ) et quadropolaires spectroscopiques (Q_S) aussi bien qu'aux variations du rayon carré moyen de charge ($\delta \langle r^2 \rangle$) et peuvent ainsi apporter des informations directes sur la forme et la déformation des noyaux.

Ces noyaux ont été étudiés par spectroscopie laser en utilisant le dispositif COMPLIS, installé sur l'une des lignes de faisceau d'ions d'ISOLDE (CERN). Les isotopes ont été produits en utilisant la fission induite par des protons de 1 GeV sur une cible de carbure d'uranium associée à une source d'ions à plasma chaud. Les mesures de spectroscopie laser ont été effectuées par l'ionisation résonnante en trois étapes des atomes de tellure désorbés par laser. Les spectres hyperfins ont été obtenus pour les états fondamentaux de $^{127-136}\text{Te}$ et les états isomériques de $^{123,125,127,129,131,133}\text{Te}$ en utilisant la transition optique $5p^4 \ ^3P_2 \rightarrow 5p^3 \ 6s \ ^3S_1$ de 214,35 nm.

L'analyse des résultats expérimentaux est en cours : la variation du rayon carré moyen de charge entre ces noyaux ($\delta \langle r^2 \rangle$) peut être extraite du déplacement isotopique et les moments nucléaires des isotopes impairs de la structure hyperfine. Les résultats préliminaires obtenus sur les isotopes pairs-pairs, portés sur la figure 1, montrent la persistance d'un changement de pente dans le $\delta \langle r^2 \rangle$ au passage de la couche magique $N = 82$ pour cette série isotopique ayant un nombre de protons ($Z = 52$) très voisin du nombre magique $Z = 50$.

- [1] G. Wenes et al., Phys. Rev. C23 (1981) 2291.
- [2] J. Rikovska et al., Nucl. Phys. A505 (1989) 145.
- [3] J.L. Wood et al., Phys. Rep. 215 (1992) 101.
- [4] H.J. Kluge and W. Nörtershäuser, Spectrochimica Acta B58 (2003) 1031.
- [5] F. Le Blanc et al., Phys. Rev. C72 (2005) 034305.

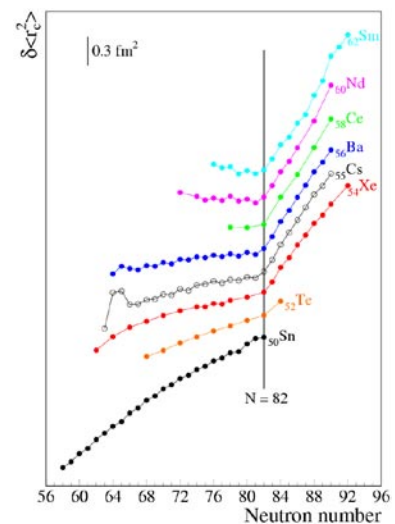


Figure 1 : $\delta \langle r^2 \rangle$ dans les séries isotopiques $50 \leq Z \leq 62$ [4,5].

Études simultanées par spectroscopie nucléaire et atomique des isotopes de plomb déficitaires en neutron

J. Genevey.

LPSC Grenoble, IPN Orsay, CERN-ISOLDE, PNPI Gatchina, Universités de Leuven, Mayence et Manchester.

With the Resonance Ionisation Laser Ion Source at ISOLDE, the $\delta\langle r^2 \rangle$ curve has been extended below $N = 104$. It appears that the ground and isomeric states of the lead isotopes remain spherical. The hyperfine spectra and decay study of ^{189}Pb have allowed us to locate the $(13/2^+)$ isomeric state at 39 ± 10 keV above the $(3/2^-)$ ground state observed for the first time. The data analysis of the β^+/CE decay of ^{189}Pb is still in progress.

En 2003, les valeurs des rayons moyens carrés de charge, $\delta\langle r^2 \rangle$, ont été déterminées pour les isotopes pairs du plomb, $^{184}, ^{186}, ^{188}\text{Pb}$. Pour les isotopes impairs, $^{183}, ^{185}, ^{187}\text{Pb}$, ces valeurs, ainsi que les moments magnétiques, ont été obtenus avec une meilleure précision que précédemment pour l'état fondamental $3/2^-$ et l'état isomérique $13/2^+$. Il apparaît ainsi que les états fondamentaux et isomériques des noyaux de plomb restent sphériques. Pour les noyaux pairs, les mélanges avec un état 0^+ déformé situé à basse énergie restent donc limités [1].

En 2005, l'étude par spectroscopie atomique des isotopes de plomb déficitaires en neutron a pu être étendue au-dessous du milieu de couche $N = 104$ avec la source d'ions laser ISOLDE grâce aux qualités de résolution en fréquence, stabilité et fiabilité atteintes. De plus, l'étude de ^{189}Pb a été réalisée par des mesures simultanées de spectroscopie nucléaire et atomique. Trois raies α ont été observées dans la désintégration de ^{189}Pb . Une intense, déjà connue, de 5727 keV, ainsi que deux nouvelles raies de 5619 et 5764 keV. Les spectres hyperfins observés pour les deux nouvelles raies α diffèrent de celui obtenu pour la raie de 5727 keV, ce qui signifie qu'il y a deux isomères dans ^{189}Pb . L'état isomérique $13/2^+$ à 103,8 keV de ^{185}Hg ayant déjà été établi [2], les mesures de coïncidences α - γ , vues sur la figure 1, ont permis d'établir le schéma de la figure 2. Deux isomères $13/2^+$ and $3/2^-$ existent donc probablement dans ^{189}Pb , l'isomère $13/2^+$ étant situé à 39 ± 10 keV au-dessus de l'état fondamental $3/2^-$. Ces résultats vont permettre de déterminer les masses de la chaîne de désintégration α jusqu'au ^{201}Ra . L'analyse des données concernant la désintégration β^+/CE de ^{189}Pb est toujours en cours.

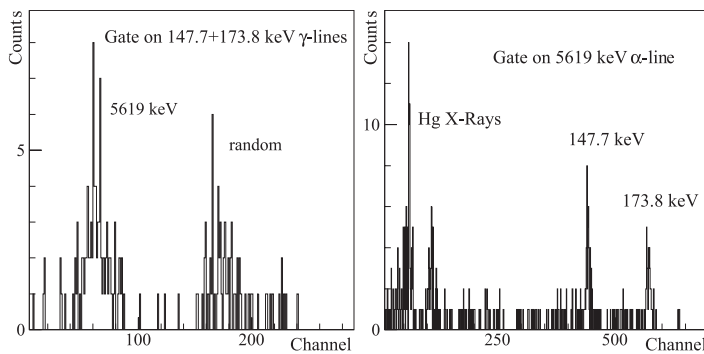


Figure 1 : Coïncidences α - γ dans la désintégration de ^{189}Pb .

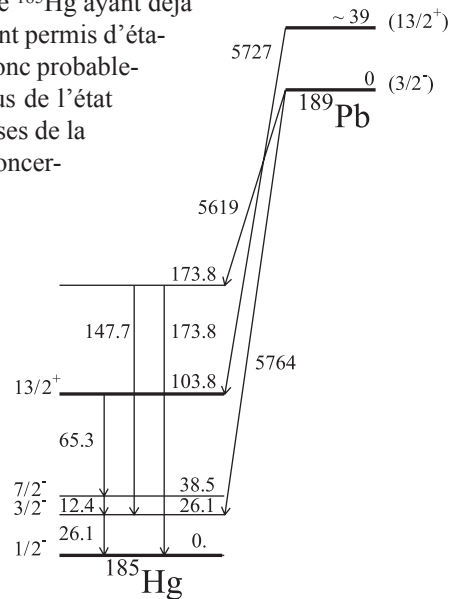


Figure 2 : Schéma de désintégration α de ^{189}Pb . Les énergies sont en keV.

[1] A. Andreyev et al., Nature 405 (2000) 430.

[2] P. Kilcher et al., Fifth Int. Conf. On Nuclei far from stability Rosseau Lake, Ontario, Canada; AIP Conference Proceedings 164 (1987) 517.