

# Mesures très précises de la durée de vie du $^{62}\text{Ga}$

G. Canchel, B. Blank, F. Delaee, C. Dossat, J. Giovinazzo, A. S. Lalleman, M. J. Lopez Jiménez, V. Madec, J. L. Pedroza, J. C. Thomas  
En collaboration avec :

GSI Darmstadt, Planckstrasse 1, D-64291 Darmstadt Germany  
Department of Physics, University of Jyväskylä, P.O. Box 35, Fin-40351 Jyväskylä, Finland  
Physics Division, Argonne National Laboratory, Argonne, Illinois 60439, USA  
Kernfysisch Versneller Instituut, Zernikelaan 25 NL 9747 AA Groningen, Netherlands  
Department of Physics & Astronomy, University of Edinburgh, Edinburgh EH9 3JZ, UK  
Oliver Lodge Laboratory, University of Liverpool, Liverpool L69 7ZE, UK  
University of Sofia, BG-1164 Sofia, Bulgaria  
Institute of Experimental Physics, University of Warsaw, PL-00-681 Warsaw, Poland

## Abstract

In two different experiments performed at the GSI on-line mass separator and at the IGISOL facility of the Accelerator Laboratory of the University of Jyväskylä, the  $\beta$  decay half-life of  $^{62}\text{Ga}$  has been studied with high precision. The decay of this  $N=Z$  odd-odd nucleus is dominated by the superallowed Fermi transition  $0^+ \rightarrow 0^+$  to the ground state of  $^{62}\text{Zn}$ . A half-life of 116.19(4) ms and 116.12(14) ms, respectively, was extracted. Moreover using  $\beta$ - $\gamma$  coincidences, the  $\gamma$  intensity of the 954 keV transition and an upper limit of the  $\beta$  feeding of the  $0^+_2$  state have been measured.

## 1. Introduction et motivations scientifiques

Les transitions de Fermi super-permises  $0^+ \rightarrow 0^+$  sont activement étudiées de nos jours. En effet, l'étude de la désintégration  $\beta$  pour certains noyaux, au travers du calcul des valeurs  $ft$  et des valeurs  $Ft$  corrigées, conduit à la mesure la plus précise de la constante de couplage de Fermi de l'interaction faible :  $G_v$ . Cette constante et celle concernant la décroissance des muons [1, 2] permettent de remonter à un des éléments ( $V_{ud}$ ) de la matrice de mélange des quarks de Cabbibo-Kobayashi-Maskawa (CKM). D'après le Modèle Standard et dans l'hypothèse de la conservation du courant vectoriel (CVC hypothesis), la première ligne de cette matrice doit vérifier la condition d'unitarité suivante [1, 2] :

$$|V_{ud}|^2 + |V_{us}|^2 + |V_{ub}|^2 = 1.$$

Or, pour le calcul des valeurs  $ft$ , la mesure de trois grandeurs est nécessaire :

- la durée de vie du noyau radioactif ( $T_{1/2}$ ),
- la chaleur de réaction disponible ( $Q_\beta$ ) et
- les rapports d'embranchements (BR).

A l'heure actuelle, les mesures sur neuf isotopes (allant de  $^{10}\text{C}$  à  $^{54}\text{Co}$ ) atteignent le niveau de précision requis. Pour les noyaux de masse plus lourde ( $^{62}\text{Ga}$ ,  $^{66}\text{As}$ ,  $^{74}\text{Rb}$ ,...), les données demeurent insuffisantes. Dans ce contexte, notre groupe, en collaboration avec différentes équipes, a réalisé deux expériences dont l'objectif était la mesure la plus précise possible de la durée de vie du  $^{62}\text{Ga}$ .

## 2. Dispositifs de détection

Les deux expériences ont respectivement eu lieu à GSI (Darmstadt en Allemagne) en novembre 2001 et à Jyväskylä (Finlande) en Juin 2002.

### a. Expérience à GSI

Les noyaux  $^{62}\text{Ga}$  ont été produits par réactions de fusion évaporation  $^{40}\text{Ca}(^{28}\text{Si}, n\alpha)^{62}\text{Ga}$  à 4.8 MeV par nucléon. Les produits de réaction ainsi créés étaient ionisés à l'aide d'une source Febiad-E2, puis séparés en masse. Le faisceau de basse énergie de  $^{62}\text{Ga}$  était ensuite implanté sur une bande de collection pendant 350 ms, avant d'être transporté vers le système de détection (temps de transport de l'ordre de 100 ms). Après un délai de 10 ms, la mesure de la décroissance débutait et se prolongeait pendant une période de 1600 ou 1800 ms, le faisceau étant défléchi loin en aval, puis un nouveau cycle d'accumulation commençait.

Le dispositif de détection était formé d'un détecteur gazeux  $4\pi$  pour les particules  $\beta$  ainsi que d'un détecteur germanium pour le rayonnement gamma (voir figure 1). Le détecteur  $\beta$

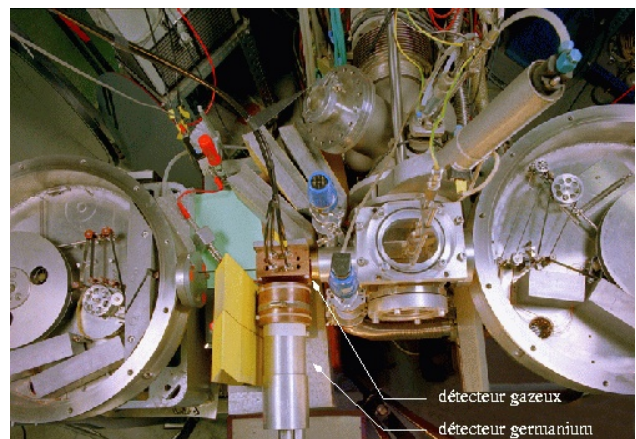


Figure 1 : Photo du dispositif de détection. On distingue le détecteur gazeux ainsi que le détecteur germanium et le système de transport de bande.

était constitué de deux chambres monofil en forme de demi sphère, utilisées en mode de saturation avec du gaz P10 légèrement au dessus de la pression atmosphérique. La très fine fenêtre d'entrée en mylar autorisait la détection des particules  $\beta$  de très faibles énergies. Le détecteur germanium, placé à une distance de 4 cm du point de mesure, était utilisé en double mode d'acquisition : avec et sans coïncidence  $\beta$  afin de connaître l'activité gamma totale et celle liée aux noyaux radioactifs implantés.

### b. Expérience à Jyväskylä

Lors de cette deuxième expérience, les noyaux  $^{62}\text{Ga}$  ont été produits par réactions de fusion évaporation  $p(^{64}\text{Zn}, 3n)^{62}\text{Ga}$  à 48 MeV. Les produits de réaction étaient extraits grâce à la technique du guide d'ions, puis séparés en masse par un aimant d'analyse. Le faisceau de basse énergie de masse  $A=62$  était dirigé vers la station de comptage en bout de ligne et implanté sur une bande de collection. Après une période de 100 ms sans faisceau afin d'obtenir une bonne définition du fond, l'activité était accumulée pendant 400 ms après quoi le faisceau primaire était défléchi afin de permettre la mesure des décroissances radioactives pendant 1600 ms. Ensuite, la bande se déplaçait et un nouveau cycle de collection commençait. Le dispositif de détection était composé d'un scintillateur plastique  $4\pi$  pour les particules  $\beta$  ainsi que de trois détecteurs germanium pour le rayonnement gamma (figure 2). La lumière du scintillateur était collectée par deux photomultiplicateurs fonctionnant en coïncidence afin de réduire l'influence du bruit de fond. L'efficacité de détection de ce dispositif est de l'ordre de 90 %. Durant toute l'expérience, les données ont été traitées simultanément par trois systèmes d'acquisition d'origine différente enregistrant les données respectivement événement par événement, cycle par cycle et run par run. Ce procédé permet ainsi de s'affranchir d'éventuelles sources d'erreurs systématiques liées au système utilisé pour collecter et traiter les signaux électroniques provenant des détecteurs.

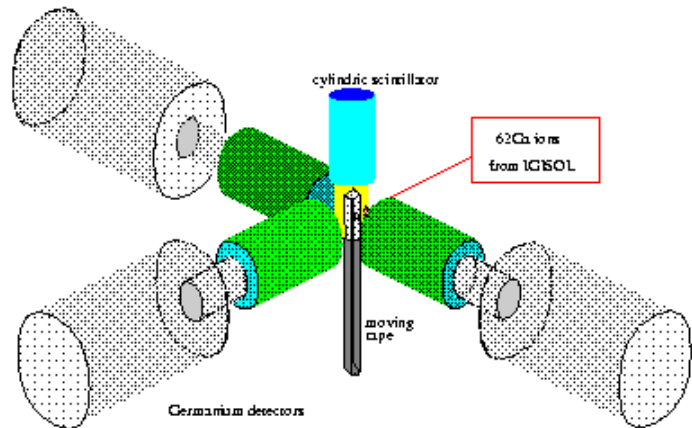


Figure 2 : Schéma illustrant le dispositif de détection utilisé lors de l'expérience en Finlande.

## 3. Résultats

### a. Expérience à GSI

Pendant toute la durée de l'expérience, nous avons enregistré une quarantaine de runs ce qui correspond à l'accumulation de plus de  $38 \times 10^6$  décroissances de  $^{62}\text{Ga}$ . La figure 3 montre la statistique obtenue pour un run.

Les mesures de haute précision comme celle-ci exigent que l'estimation des erreurs soit la plus fine possible. A cette fin, lors de l'expérience, nous avons fait varier différents paramètres liés aux détecteurs et au système d'acquisition tels que la haute tension appliquée aux détecteurs gazeux ou le temps mort de l'acquisition. Il s'est avéré que les variations de ces paramètres n'avaient pas d'influence mesurable sur le résultat.

Dans le même esprit, lors de l'analyse des données, l'importance du bruit de fond et l'éventuelle contamination d'autres noyaux radioactifs ( $^{62}\text{Ge}$ ,  $^{62}\text{Zn}$ ...) ont été prises en compte lors de la détermination de la période. La valeur ainsi obtenue est :  $T_{1/2} = (116.19 \pm 0.04)$  ms.

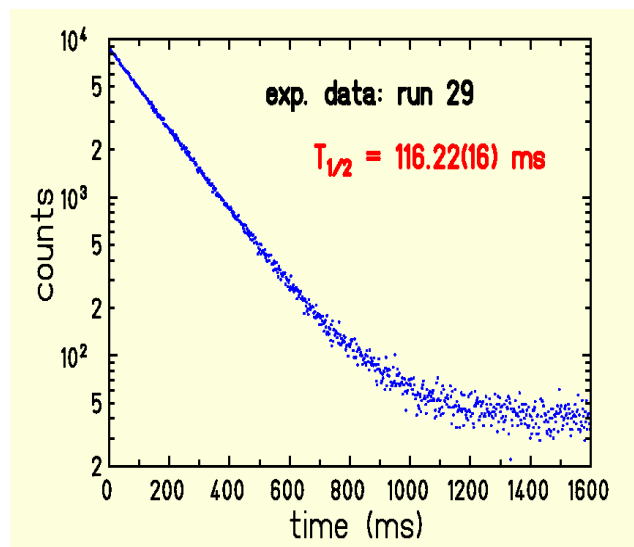
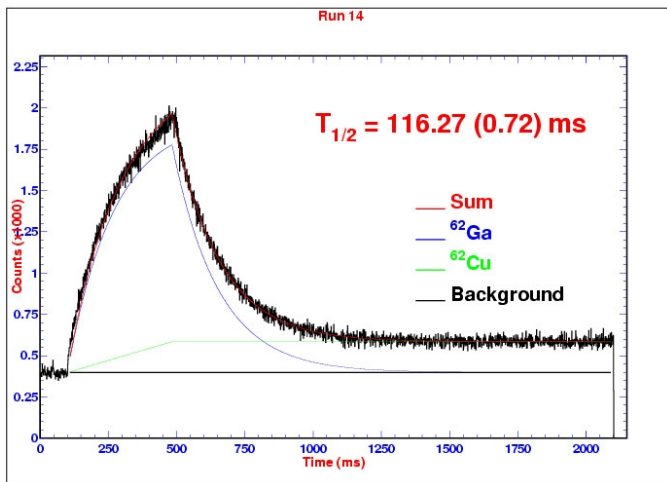


Figure 3 : Spectre de décroissance en temps obtenu lors d'un run.

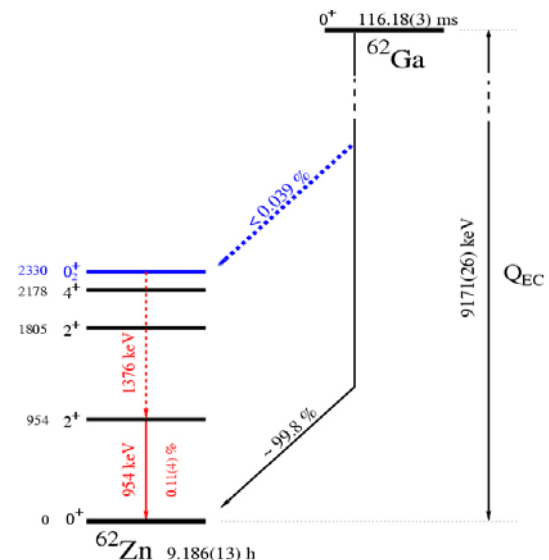
## b. Expérience à Jyväskylä

L'analyse de cette expérience a permis de mesurer à nouveau, avec une bonne précision ( $\sim 10^{-3}$ ), la durée de vie du  $^{62}\text{Ga}$ . De plus, grâce à l'utilisation conjointe de trois détecteurs germanium, elle a permis de confirmer les résultats obtenus pour les désexcitations  $\gamma$ .

- Mesure de la période  
 Tout comme pour l'expérience précédente, nous avons fait varier différents paramètres liés à l'analyse pour les trois acquisitions. La contribution des possibles contaminations ( $^{62}\text{Cu}$ ,  $^{62}\text{Zn}...$ ) a également été prise en compte lors de la détermination de la durée de vie. La figure 4 présente l'ajustement lors de l'analyse d'un run. En combinant l'ensemble de la statistique et les résultats des différentes acquisitions, nous obtenons pour la période la valeur suivante :  $(116.12 \pm 0.14)$  ms.
- Transition  $\gamma$  à 954 keV  
 L'analyse de la raie  $\gamma$  à 954 keV, signant la transition  $2^+ \rightarrow 0^+$  entre le premier état excité et l'état fondamental du  $^{62}\text{Zn}$ , permet d'extraire un rapport d'embranchement :  $\text{BR} = (0.111 \pm 0.039)$  %. Or ce niveau ne peut être peuplé directement (différence de spin) lors de la désintégration ; il est donc alimenté par des états situés plus haut en énergie (notamment des états  $1^+$ ). La mesure de ce rapport d'embranchement est en bon accord avec les précédentes indications. Etant donné sa faible intensité, il n'a pas été possible de mettre en évidence une coïncidence d'autres raies  $\gamma$  avec cette transition.
- Limite supérieure sur l'éventuelle transition  $\gamma$  de 1376 keV  
 Aucun pic  $\gamma$  n'a pu être distingué du bruit de fond à cette énergie. Cette transition devrait désexciter le second niveau  $0^+$  du  $^{62}\text{Zn}$  vers le premier niveau  $2^+$ . Comme nous le citions précédemment, l'absence de coïncidence  $\gamma$  avec la transition à 954 keV vient corroborer ce résultat. Ceci nous permet néanmoins d'extraire une limite supérieure du rapport d'embranchement pour cette transition :  $\text{BR} < 0.039$  %. La détermination de ce rapport constituerait une mesure expérimentale de l'importance du mélange d'isospin et servirait de test pour l'une des corrections permettant de passer des valeurs  $ft$  aux valeurs corrigées  $Ft$ .



**Figure 4 : Distribution en temps des événements de désintégration. L'ajustement a été réalisé en considérant deux décroissances radioactives ( $^{62}\text{Ga}$  et  $^{62}\text{Cu}$ ) et un fond constant.**



**Figure 5 : Schéma de désintégration du  $^{62}\text{Ga}$ .**

Les deux derniers résultats conduisent également à fournir une limite supérieure du rapport d'embranchement de  $(99.8 \pm 0.1)$  % pour la transition de Fermi super-permise entre les deux états fondamentaux. La figure 5 présente le schéma de désintégration de  $^{62}\text{Ga}$ .

Le tableau 1 récapitule les différentes mesures de la durée de vie du  $^{62}\text{Ga}$  ainsi que la moyenne pondérée extraite. A partir de ces résultats et en considérant une chaleur de réaction  $Q$  égale à  $9171(26)$  keV, nous obtenons une nouvelle valeur corrigée  $Ft$  de  $(3056 \pm 47)$  s pour le  $^{62}\text{Ga}$ . Cette valeur est en parfait accord avec celle issue de la moyenne des neuf transitions les plus précisément mesurées entre le  $^{10}\text{C}$  et  $^{54}\text{Co}$  ( $3072.2(8)$  s).

Expérience à GSI [3]	Expérience à Jyväskylä [8]	Alburger et al. [4]	Chiba et al. [5]	Davids et al. [6]	Hyman et al. [7]	Moyenne pondérée
116.19(4)	116.12(14)	115.95(30)	116.4(15)	116.34(35)	115.84(25)	116.18(4)

**Tableau 1 : Résultats des différentes mesures de durée de vie du  $^{62}\text{Ga}$ . La dernière colonne représente la moyenne pondérée de l'ensemble des valeurs.**

### Conclusion

Les deux expériences réalisées à GSI et à Jyväskylä ont permis d'atteindre la précision requise ( $\leq 10^{-3}$ ) sur la durée de vie du  $^{62}\text{Ga}$  afin de pouvoir intégrer la systématique des valeurs  $Ft$ . Néanmoins, les deux autres quantités que sont la chaleur de réaction et les rapports d'embranchement doivent aussi être mesurées avec une incertitude relative équivalente. Sur ce dernier point (rapports d'embranchement), notre groupe devrait réaliser prochainement une expérience entièrement dédiée à cette étude. Par ailleurs, des mesures de masses du  $^{62}\text{Ga}$  et du  $^{62}\text{Zn}$  sont actuellement en cours au CERN et devraient également avoir lieu dans un avenir très proche à Jyväskylä, permettant ainsi d'extraire la valeur  $Q_{\beta}$ .

### Références :

- [1] I. S. Towner and J. C. Hardy, Phys. Rev. C **66**, 035501 (2002).
- [2] J. C. Hardy et al., Nucl. Phys. A **509**, 429 (1990).
- [3] B. Blank et al., Phys. Rev. C **69**, 015502 (2004).
- [4] D. E. Alburger et al., Phys. Rev. C **18**, 1875 (1978).
- [5] R. Chiba et al., Phys. Rev. C **17**, 2219 (1978).
- [6] C. N. Davids et al., Phys. Rev. C **19**, 1463 (1979).
- [7] B. C. Hyman et al., Phys. Rev. C **68**, 015501 (2003).
- [8] G. Canchel et al., en préparation.