



## Übungsblatt VI

### Hinweise

- Ausgabe: 16.05.2018
- Abgabe bis 30.05.2018, 13:59 Uhr, Briefkasten Institut für Kernphysik
- Besprechung: 06.06.2018

### Einfache Fragen

Bitte beachten Sie die auf [Ilias](#) zur Verfügung gestellten Quizfragen zu jedem Kapitel der Vorlesung. Diese sind prüfungsrelevant. Fragen zum Kernphysik-Quiz können innerhalb der Übungsgruppe besprochen werden.

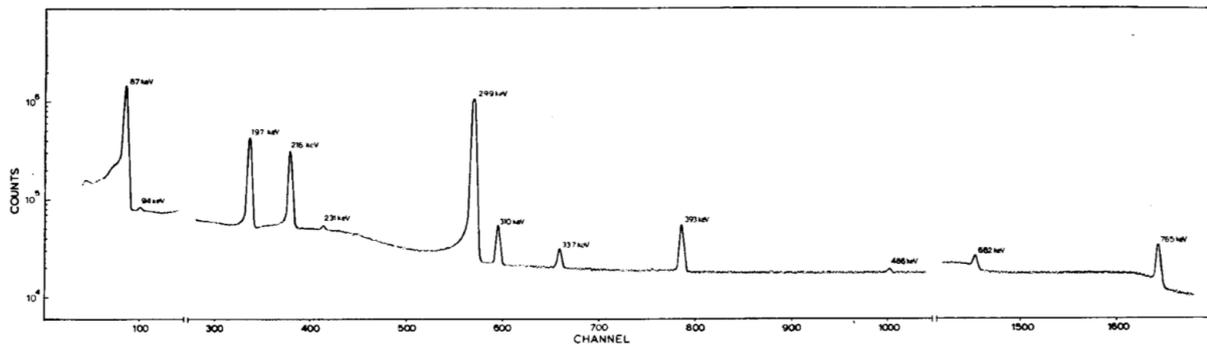
### Aufgabe I: Neutronen-Einfang an $^{159}\text{Tb}$

Die Untersuchung von Neutronen-Einfangswirkungsquerschnitten ist aus zweierlei Gründen wichtig. Zum Einen spielen sie eine große Rolle in der Entstehung der chemischen Elemente in Sternen. Zum Anderen sind sie wichtig für die Planung, den Bau und den Betrieb von Kernreaktoren. Hier soll als Beispiel der thermische Neutronen-Einfang an  $^{159}\text{Tb}$  betrachtet werden.

- a) Nach dem Einfang eines thermischen Neutrons an dem Nuklid  $^{159}\text{Tb}$  (Grundzustandsspin  $J^\pi = 3/2^+$ ) befindet sich der erzeugte Kern  $^{160}\text{Tb}$  zunächst in einem angeregten Zustand, dem sogenannten *Compound-Zustand*. Dieser Zustand kann über einen direkten  $\gamma$ -Zerfall in den Grundzustand des erzeugten Kerns  $^{160}\text{Tb}$  zerfallen. Bestimmen Sie die Energie des  $\gamma$ -Überganges und die Energie des Rückstoßkerns. 2 Pkt
- b) Welchen Spin sollte der *Compound-Zustand* besitzen, damit ein Neutronen-Einfang besonders wahrscheinlich ist? Bestimmen Sie auch die Multipolarität des  $\gamma$ -Zerfalls!  
*Hinweis: Drehimpulsbarriere!* 2 Pkt

In einem Experiment<sup>1</sup> am Oak Ridge National Laboratory, USA, wurde  $^{159}\text{Tb}$  für 23.6 Tage mit einem Neutronenfluss von  $10^{15} \frac{n}{\text{cm}^2}$  bestrahlt. Das so neutronenaktivierte Material wurde dann mittels eines  $35 \text{ cm}^3$  Ge(Li) Detektor spektroskopiert um durch den  $\beta^-$ -Zerfall von  $^{160}\text{Tb}$  Informationen über die Levelstruktur in  $^{160}\text{Dy}$  zu gewinnen. Das erhaltenen  $\gamma$ -Spektrum ist in Fig. 1 gezeigt.

<sup>1</sup>M.A. Luddington *et al.*, [The decay of  \$^{160}\text{Tb}\$  to levels in  \$^{160}\text{Dy}\$](#) , Nuclear Physics A, **119** (1968) 398.



**Figure 1:** Ein  $\gamma$ -Spektrum von  $^{160}\text{Dy}$  entnommen aus M.A. Luddington *et al.*, [The decay of  \$^{160}\text{Tb}\$  to levels in  \$^{160}\text{Dy}\$](#) , Nuclear Physics A, **119** (1968) 398.

- c) Berechnen Sie den Q-Wert für den  $\beta^-$ -Zerfall  $Q(\beta^-)$ . Der Grundzustand von  $^{160}\text{Tb}$  ist  $J^\pi = 3^-$ . Welche Spin und Paritäten werden in  $^{160}\text{Dy}$  Ihrer Meinung nach am häufigsten durch den  $\beta^-$ -Zerfall bevölkert und warum? 2 Pkt
- d) Zwei der in Fig. 1 zusehenden  $\gamma$ -Übergänge sind konvertiert (innere Konversion) und mit folgendem Konversionslinienspektrum verbunden: 32.9 keV, 78.0 keV, 84.7 keV, 86.1 keV und 143.0 keV  
Die Bindungsenergien der Elektronen in den K-, L-, M-, N- Schalen im Dysprosium betragen: 53.4 keV, 8.6 keV, 1.9 keV und 0.4 keV  
Bestimmen Sie die  $\gamma$ -Energien und identifizieren Sie die Konversionslinien mit den Übergängen in den Elektronenschalen. 2 Pkt
- e) Eine der hergestellten Quellen in dem Experiment im Jahre 1968 hatte eine Aktivität von ca.  $1.85 \times 10^{10}$  Bq. Eine der häufigst auftretenden  $\gamma$ -Linien bei diesem  $\beta^-$ -Zerfall hat eine Energie von 298 keV mit einer Intensität von  $I_\gamma = 26\%$ . Wie lange hätte man damals messen müssen um  $10^6$  Ereignisse dieser  $\gamma$ -Linie zu detektieren wenn der Detektor eine Effizienz von 10 % bei dieser Energie hatte? 2 Pkt

## Aufgabe II: Paulis Postulat - Die Existenz des Neutrinos

Im Jahr 1930 postulierte Pauli die Existenz des Neutrinos beim  $\beta$ -Zerfall<sup>2</sup>. Die erste Beobachtung des Neutrinos gelang erst im Jahre 1956<sup>3</sup>. Welche physikalischen Beobachtungen führten Pauli zu dieser Hypothese? Diskutieren Sie hierzu die folgenden beiden Zerfälle in Hinblick auf Energie-, Impuls und Drehimpulserhaltung!

1.  $^{14}\text{C} \rightarrow ^{14}\text{N} + e^-$
2.  $^{14}\text{C} \rightarrow ^{14}\text{N} + e^- + \bar{\nu}_e$

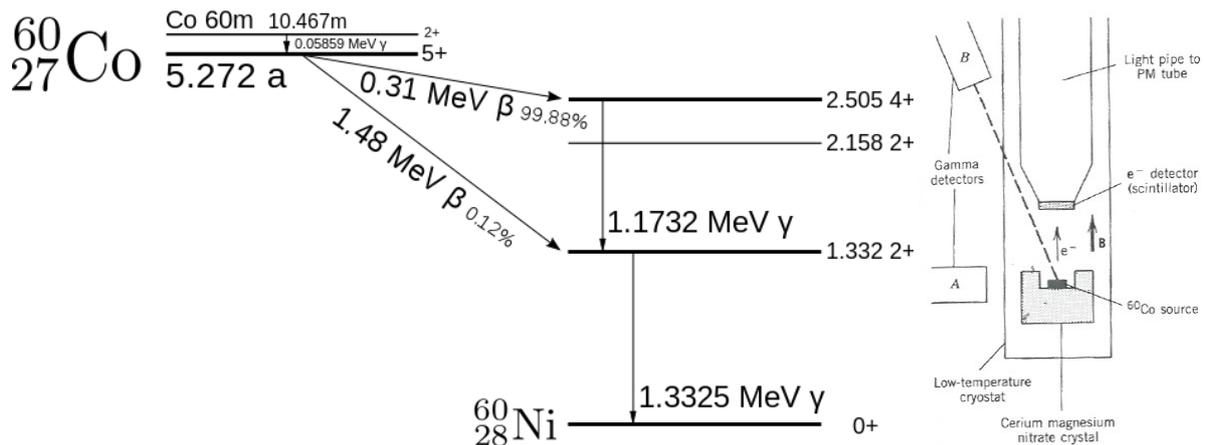
Welche Arten von erlaubten und verbotenen  $\beta$ -Zerfällen gibt es und wie werden diese klassifiziert? Betrachten Sie den  $\beta^-$ -Zerfall von 2.. Handelt es sich hier um einen erlaubten oder verbotenen Zerfall? Begründen Sie ihre Antwort! 3 Pkt

<sup>2</sup>Prof. Dr. Mößbauer, [Geschichte der Neutrino-Physik](#), Abendvorlesung, TU München

<sup>3</sup>C.L. Cowan Jr. *et al.*, [Detection of the Free Neutrino: a Confirmation](#), Science **124** (1956) 103

## Aufgabe III: Paritätsverletzung der schwachen Wechselwirkung (Bonus)

Anhand des  $\beta^-$ -Zerfalls von  $^{60}\text{Co}$  ist experimentell gezeigt worden, dass die Paritätserhaltung durch die schwache Wechselwirkung verletzt wird. Dies ist ein fundamentales Ergebnis der Kern- und Teilchenphysik und zeigt, dass die Natur bereits auf kleinsten Skalen zwischen dem Originalbild und seinem Spiegelbild unterscheidet. Diese Aufgabe dient dazu, dieses zentrale Ergebnis anhand der Originaldaten nachzuvollziehen.



**Figure 2:** (Links) Zerfallsschema resultierend aus dem  $\beta^-$ -Zerfall von  $^{60}\text{Co}$ . Der isomere  $J^\pi = 2^+$  Zustand von  $^{60}\text{Co}$  ist ebenfalls gezeigt. Entnommen aus Wikipedia. (Rechts) Der experimentelle Aufbau von C.S. Wu et al. zur Messung der Paritätsverletzung im  $\beta^-$ -Zerfall. Entnommen aus K.S. Krane „Introductory Nuclear Physics“, Abb. 9.22.

- Wieso ist der Grundzustandsübergang stark unterdrückt? Welche Übergänge werden stattdessen am häufigsten beobachtet? Klassifizieren Sie diese entsprechend erlaubten und verbotenen Übergängen? 3 Pkt
- Skizzieren Sie, was für die Richtung der Elektronemission erwartet würde, wenn der Kernspin  $\vec{J}$  in einem externen Magnetfeld  $\vec{B}$  ausgerichtet, die Richtung dieses Feldes umgedreht würde und Parität erhalten wäre! 3 Pkt
- Vollziehen sie mit Hilfe der Originalveröffentlichung von C.S. Wu et al.<sup>4</sup> nach, was stattdessen beobachtet wurde! Beschreiben Sie hierzu das Experiment, in dem der erlaubte Gamow-Teller Zerfall in den angeregten  $4^+$ -Zustand von  $^{60}\text{Ni}$  beobachtet wurde. Wieso musste die  $^{60}\text{Co}$ -Quelle auf 0.01 K gekühlt werden? Was lässt sich aus der gemessenen  $\gamma$ -Anisotropie und der gemessenen  $\beta$ -Asymmetrie ableiten? 4 Pkt

<sup>4</sup>C.S. Wu et al., [Experimental Test of Parity Conservation in Beta Decay](#), Physical Review **105** (1958) 1413