



Übung 6

(Ausgabe: 13.11.2014 in der Vorlesung, Abgabe: 18.11.2014 in den Übungen)

Übungsaufgaben (werden korrigiert und bewertet, zulassungsrelevant.)

▪ **Aufgabe 1: β^- -Zerfall in angeregte Zustände (6 Punkte)**

Bei einem β^- -Zerfall können drei Elektronenspektren mit den Endpunktenergien (i) 672 keV, (ii) 536 keV und (iii) 256 keV beobachtet werden. Außerdem liegen folgende Informationen vor:

- Koinzident mit der *i*-ten Komponente werden γ 's mit den Energien 468 keV und 316 keV detektiert. Die beiden γ 's werden auch untereinander koinzident nachgewiesen.
- Die *ii*-te Komponente hat koinzidente γ 's von 604, 308, 136, 468, 612, 296 und 316 keV.
- Bei der *iii*-ten Komponente werden alle genannten γ 's koinzident detektiert und außerdem noch γ 's mit 884, 416, 280, 588 keV.

- a) Erstellen Sie das zugehörige Zerfallsschema, welches die Energieniveaus des Tochterkerns zeigt und die Übergänge zwischen diesen Energieniveaus darstellt! (4 Punkte)
- b) Wie groß ist die Massendifferenz (Q -Wert) der Grundzustände von Mutter- und Tochterkern? Können Sie dies aus dem Zerfallsschema ablesen? (2 Punkte)

(**Tipp:** Zwei koinzidente, d.h. zeitlich direkt aufeinanderfolgende γ -Quanten werden z.B. vom $J^\pi=4^+$ -Zustand in ^{60}Ni nach Bevölkerung durch β^- -Zerfall von ^{60}Co detektiert, s. Zerfallsschema in Aufg. 3.)

▪ **Aufgabe 2: Auswahlregeln und Übergangswahrscheinlichkeiten im γ -Zerfall (11 Punkte)**

In der Vorlesung haben Sie den γ -Zerfall, sowie alternativ die innere Konversion für die Abregung angeregter Kernzustände kennengelernt. Weiterhin haben Sie die Weisskopf-Abschätzung für die Zerfallswahrscheinlichkeit elektrischer γ -Übergänge kennengelernt. Auch für magnetische Übergänge M der Multipolarität l gibt es eine solche Abschätzung. Beachten Sie hierzu den Tipp unter **b)**. Betrachten Sie den Zerfall des $J^\pi=2^+$ -Isomers in ^{60}Co ($T_{1/2}=10.5$ min) in den $J^\pi=5^+$ -Grundzustand von ^{60}Co (s. Abbildung in Aufg. 3)!

- a) Welche Multipolübergänge können Sie beobachten? Welche sind am wahrscheinlichsten? (5 Punkte)
- b) Für den angesprochenen Übergang konkurrieren γ -Zerfall und innere Konversion. Nehmen Sie einen totalen Konversionskoeffizienten von 49 an! Berechnen Sie die totale Zerfallswahrscheinlichkeit λ_t ($\lambda_t \neq \lambda(M3)$!) und die Halbwertszeit $T_{1/2}$ für den Zerfall des isomeren Zustandes unter der Annahme eines reinen $M3$ -Überganges! Vergleichen Sie diesen mit dem tatsächlichen experimentellen Wert! (**Tipp:** $\lambda(M3) = 16 \cdot A^{\frac{4}{3}} \cdot E^7$, wobei λ in s^{-1} und E in MeV eingesetzt wird.) (6 Punkte)

▪ **Aufgabe 3: Paritätsverletzung der schwachen Wechselwirkung (8 Punkte + 6 Bonuspunkte)**

Anhand des β^- -Zerfalls von ^{60}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 auf, 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.

- Berechnen Sie den Q-Wert für den β^- -Zerfall von ^{60}Co in den Grundzustand von ^{60}Ni ! Wieso ist der Grundzustandsübergang stark unterdrückt? Welche Übergänge werden stattdessen am häufigsten beobachtet? Klassifizieren Sie diese entsprechend erlaubten und verbotenen Übergängen? (4 Punkte)
- 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! (4 Punkte)
- Vollziehen sie mit Hilfe der Originalveröffentlichung von C.S. Wu *et al.* nach, was stattdessen beobachtet wurde! Beschreiben Sie hierzu das Experiment, in dem der erlaubte Gamow-Teller Zerfall in den angeregten 4^+ -Zustand von ^{60}Ni beobachtet wurde. Wieso musste die ^{60}Co -Quelle auf 0.01 K gekühlt werden? Was lässt sich aus der gemessenen γ -Anisotropie und der gemessenen β -Asymmetrie ableiten? (6 Bonuspunkte)

Die Originalveröffentlichungen finden Sie hier:

C.S. Wu *et al.*: <https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRev.105.1413>

Die benötigten Atommassen finden Sie unter:

<http://ie.lbl.gov/toi2003/MassSearch.asp>

Zerfallsschema von ^{60}Co und experimenteller Aufbau:

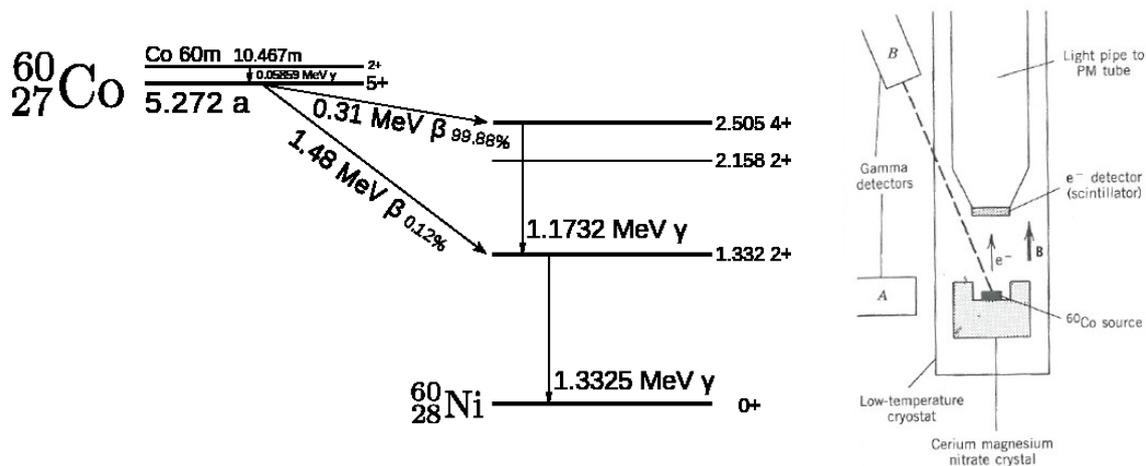


Abbildung 1: (Links) Zerfallsschema resultierend aus dem β -Zerfall von ^{60}Co . Der isomere $J^\pi=2^+$ -Zustand von ^{60}Co ist ebenfalls gezeigt. Entnommen aus Wikipedia. (Rechts) Der experimentelle Aufbau von C.S. Wu *et al.* zur Messung der Paritätsverletzung im β -Zerfall. Entnommen aus K.S. Krane „Introductory Nuclear Physics“, Abb. 9.22.

▪ **Aufgabe 4: Thermischer Neutroneneinfang und direkter γ -Zerfall (5 Punkte)**

Bei thermischem Neutroneneinfang an dem Nuklid ^{113}Cd (Grundzustandsspin $J^\pi=1/2^+$) wird ein direkter γ -Zerfall in den Grundzustand des erzeugten Kerns ^{114}Cd beobachtet.

- Bestimmen Sie die Energie des γ -Überganges und die Energie des Rückstoßkerns! (2 Punkte)
- Nach dem Einfang des Neutrons befindet sich der erzeugte Kern ^{114}Cd zunächst in einem angeregten Zustand, dem sogenannten *Compound-Zustand*. Welchen Spin sollte dieser Zustand besitzen, damit ein Neutroneneinfang besonders wahrscheinlich ist? Bestimmen Sie auch die Multipolarität des γ -Zerfalls! (3 Punkte)