

Fortgeschrittenenpraktikum

Versuch 21: Messung der Lebensdauer angeregter Kernzustände durch verzögerte γ - γ -Koinzidenzen

Durchgeführt am 27. Oktober 2000

PRAKTIKANTENGRUPPE 51

Annemarie Fuchs	2038176
Stefanie Wagner	2035252
Matthias Becker	2054412

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	2
2	Energiemessungen	2
2.1	Energieeichung	2
2.2	Effizienzbestimmung	2
2.3	Aktivitätsbestimmung der Hf-Probe	4
3	Zeitmessungen	5
3.1	Zeiteichung	5
3.2	Lichtgeschwindigkeit	5
3.3	Brechungsindex eines Koaxialkabels	5
3.4	Lebensdauerermessung	7
4	Fragen	7
4.1	Aktivität eines Menschen	7
4.2	Wie findet man zusammengehörende Start- und Stop-Signale? . .	8
4.3	Interpretation der Spektren	8
4.4	Winkelkorrelation	9
4.5	Andere Methoden zur Lebensdauerbestimmung	9
5	Literatur	9

1 Einführung

Der Praktikumsversuch „Lebensdauermessung“ hatte zum Ziel, die Halbwertszeit eines $\frac{5}{2}^+$ -Niveau in ^{181}Ta bei 482 keV und bei 346 keV mit Hilfe von verzögerten γ - γ -Koinzidenzen zu bestimmen.

2 Energiemessungen

2.1 Energieeichung

Zu Beginn musste die Energieeichung vorgenommen werden. Zur Eichung benutzten wir die 511 keV-Linie von ^{22}Na und die 122 keV-Linie von ^{57}Co . Die Spektren der beiden Eichquellen konnten wir uns aus ihren Zerfallsschemata erschließen. Das Maximum eines Peaks entspricht einer solchen Linie. Der dabei gemachte Fehler ist gegenüber dem statistischen Fehler, der später beim Ablesen gemacht wird, vernachlässigbar klein.

Abbildung 1: Spektrum der Eichquellen

2.2 Effizienzbestimmung

Um die energieabhängige Effizienz des Detektors abzuschätzen, benutzten wir wieder die Na- und Co-Proben, von denen wir die gegenwärtige Aktivität berechnen konnten. Die Aktivität von der Co-Probe betrug an diesem Tag 19 kBq und von der Na-Probe 1,22kBq (diese Werte nehmen wir als exakt an). Gemessen wurden 4444 Bq ($\pm 0,2\%$) und 128 Bq ($\pm 0,4\%$). Die gemessene Aktivität ist die Anzahl der Ereignisse (ohne Untergrundrauschen) des Peaks der 511 keV-Linie von ^{22}Na bzw. die der 122 keV-Linie von ^{57}Co . Die Effizienz ε ist der

Quotient von gemessener und berechneter Aktivität. Für die Co-Probe beträgt ε 23.4% und für die Na-Probe 10.5%. Mit diesen Werten können wir die Beziehung zwischen Energie und Effizienz bestimmen indem wir die Werte doppelt logarithmisch auftragen und eine Gerade durchziehen.

Abbildung 2: Energieabhängigkeit der Detektoreffizienz

Mit der Steigung von $-0,56$ und einem y-Achsenabschnitt von $3,45$ bekommen wir die Beziehung:

$$\varepsilon = 3,45 \cdot (E/\text{keV})^{-0,56}$$

Den Fehler hierfür schätzen wir auf unter 1%.

Für die Hf-Linie von 482 keV bekommen wir eine Effizienz von 10,8%, für die bei 346 keV von 13,1%.

2.3 Aktivitätsbestimmung der Hf-Probe

Abbildung 3: Spektrum der ^{181}Hf -Probe

Leider fehlen uns zur Bestimmung der Aktivität der Probe die Gesamtzählraten der Peaks, es stehen uns nur die Maximalwerte zur Verfügung: $1328/44\text{s} = 30\text{s}^{-1}$ bei 346 keV und $376/44\text{s} = 9\text{s}^{-1}$ bei 482 keV. Deshalb versuchen wir, durch Abmessen der Breiten σ , an denen die Zählrate auf $1/e$ abgefallen ist, die Flächen unter den Gauss-förmigen Kurven berechnen. Bei der 346 keV-Linie sind dies 4,5 mm entsprechend 23,14 keV, bei der 482 keV-Linie 9,5 mm entsprechend 48,86 keV. Für die gemessene Aktivität ergibt sich ein Wert von

$$N = \frac{1}{\text{keV}} \int_{-\infty}^{\infty} N_0 e^{-\left(\frac{E-E_0}{\sigma}\right)^2} dE = \frac{N_0}{\text{keV}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-u^2} \sigma du = \frac{N_0 \sigma \sqrt{\pi}}{\text{keV}}$$

Unter Berücksichtigung der Nachweiseffizienz erhält man

$$N(346 \text{ keV}) = \frac{1}{0,131} \cdot \frac{1328}{44\text{s}} \cdot 23,14 \cdot \sqrt{\pi} = 9,45 \text{ kBq}$$

$$N(482 \text{ keV}) = \frac{1}{0,108} \cdot \frac{376}{44\text{s}} \cdot 48,86 \cdot \sqrt{\pi} = 6,85 \text{ kBq}$$

Die Gesamtaktivität beträgt also 16,3 kBq, wobei wir durch die ungenaue Auswertung und die Untergrundaktivität sicher höchstens eine Genauigkeit von etwa 30% erhalten.

3 Zeitmessungen

3.1 Zeiteichung

Für die Zeiteichung haben wir dasselbe Signal als Start- und Stoppsignal genutzt. Das Signal wurde über Verzögerungsstrecken von 40 ns und 80 ns geschickt. Somit konnten wir den Kanälen Zeiten zuordnen.

3.2 Lichtgeschwindigkeit

Zur Messung der Lichtgeschwindigkeit haben wir die Vernichtungsstrahlung aus dem β^+ -Zerfall des ^{22}Na benutzt. Die beiden 511-keV-Quanten werden unter einem Winkel von 180° ausgesandt und so jeweils gleichzeitig in beiden Detektoren registriert (bei gleichem Abstand). Durch asymmetrische Anordnung kann man aus der Laufzeitdifferenz die Lichtgeschwindigkeit errechnen. Dazu brachten wir die Quelle zum einen genau zwischen die Detektoren

Abbildung 4: ^{22}Na -Quelle dicht zwischen den Detektoren

und zum anderen dicht an den einen Detektor und den anderen dazu im Abstand (488 ± 5) mm.

Aus der Zeitdifferenz von $(1,9 \pm 0,1)$ ns ergibt sich die Lichtgeschwindigkeit zu

$$c = \frac{0,488 \text{ m}}{1,9 \text{ ns}} = (2,6 \pm 0,2) \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

3.3 Brechungsindex eines Koaxialkabels

Um den Brechungsindex eines Koaxialkabels zu messen, haben wir die Laufzeitdifferenz eines Signals bestimmt. Dazu sind wir wie bei der Zeiteichung vorgegangen. Einmal haben wir das Signal über eine Verzögerung von 40 ns geschickt,

Abbildung 5: ^{22}Na -Quelle dicht am ersten Detektor, mit Abstand zum zweiten dann zusätzlich ein $(4,06 \pm 0,01)$ m langes Koaxialkabel zwischen Start und Stop gesteckt.

Abbildung 6: Laufzeitmessung in Koaxkabel

Als Zeitdifferenz haben wir $(18,3 \pm 0,1)$ ns bekommen, für 4,06 m braucht das Licht

$$\frac{4,06 \text{ m}}{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 13,6 \text{ ns}$$

damit kommen wir auf Brechungsindex von

$$n = \frac{18,3 \text{ ns}}{13,6 \text{ ns}} = 1,35 \pm 0,01$$

für das Kabel.

3.4 Lebensdauermessung

Um die Lebensdauer von Hafnium zu messen, haben wir logarithmisch die Zählrate über die Zeit auftragen lassen. Dann haben wir zu einem beliebigen Zeitpunkt die Zählrate und Zeit abgelesen, dann die Zählrate halbiert und dort nochmals die Zeit abgemessen. Diese Zeitdifferenz ist die gemessene Halbwertszeit. Dies haben wir für die Energien 482 keV mit $(12,6 \pm 1,0)$ ns und 364 keV mit $(11,1 \pm 1,0)$ ns getan.

Abbildung 7: Lebensdauermessung

Um nun die Halbwertszeit des $\frac{5}{2}^+$ -Niveaus zu bekommen, müssen wir die gemessenen Halbwertszeiten gewichtet mitteln:

$$85\% \cdot 12,6 \text{ ns} + 15\% \cdot 11,1 \text{ ns} = (12,4 \pm 1,4) \text{ ns}$$

Der Literaturwert ist 10,8 ns. Wie man im Spektrum sieht, war ein genaues Ablesen sehr schwierig. Um genauere Werte zu erhalten, hätte man eine deutlich höhere Zählrate benötigt.

Die mittlere Lebensdauer lautet nun

$$\tau = \frac{12,4 \text{ ns}}{\ln 2} = (17,9 \pm 2,0) \text{ ns}$$

Die tatsächliche mittlere Lebensdauer wäre 15,6 ns.

4 Fragen

4.1 Aktivität eines Menschen

Um eine Vorstellung über die Schädlichkeit radioaktiver Strahlung zu erlangen, schätzen wir die natürliche Aktivität eines Menschen ab. Der menschliche Körper

enthält zu 9,5% Kohlenstoff und ein Gramm Kohlenstoff im natürlichen Gleichgewicht hat eine Aktivität von 15 min^{-1} . Für einen Menschen mit einem Körpergewicht von 70 kg ergibt sich

$$70000 \text{ g} \cdot 0,095 \cdot 0,25 \text{ s}^{-1} = 1,6 \text{ kBq}$$

Der Kaliumanteil beträgt 0,06%, davon entfallen 0,0117% auf das Isotop ^{40}K . Es befinden sich also in einem menschlichen Körper 4,9 mg ^{40}K

$$\frac{\ln 2}{1,3 \cdot 10^9 \text{ a}} \cdot \frac{4,9 \cdot 10^{-3} \text{ g} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}}{40 \text{ g mol}^{-1}} = 1,2 \text{ kBq}$$

Ein Mensch hat also eine Gesamtaktivität von 2,8 kBq.

4.2 Wie findet man zusammengehörende Start- und Stop-Signale?

Wenn das Startsignal detektiert wird ist es wahrscheinlich, dass das Stoppsignal ebenso detektiert wird, da die Emission vom γ -Quant um 180° verschoben ist. Es kann zwar vorkommen, dass das Stoppsignal von einem anderen Zerfall kommt, aber bei hohen Zählraten fallen die falschen Zeiten kaum ins Gewicht.

4.3 Interpretation der Spektren

Abbildung 8: Comptonuntergrund

Das „Gebirge“ im Spektrum von ^{22}Na ist dadurch zu erklären, dass viele γ -Quanten durch Comptoneffekt am NaJ-Kristall gestreut werden. Die erste Linie im Hf-Spektrum könnte die K_α -Linie vom Hafnium sein.

4.4 Winkelkorrelation

Die Emission eines Gammaquants hinterlässt den Kern in einem Zustand, der für die Emission eines weiteren Quants eine bevorzugte Richtung hat. Bei Hafnium ist der Winkel zwischen den beiden Quanten 180° . Stört man das innere Feld, so ist die Winkelkorrelation von 180° nicht mehr gegeben. Der Detektor wird dann nur noch das Start-, nicht aber das dazugehörige Stoppsignal erhalten, sondern ein von einem anderen Kern ausgesandtes Gammaquant. Dadurch wird die Lebensdauerbestimmung unbrauchbar.

4.5 Andere Methoden zur Lebensdauerbestimmung

Für längere Lebensdauern (im Minutenbereich), ist es möglich, die Halbwertszeit der Aktivität zu messen.

Bei geeigneten Kernen kann man mittels Mössbauereffekt die natürliche Linienbreite Γ messen und daraus die Lebensdauer $\tau = \hbar/\Gamma$ berechnen.

5 Literatur

- N. N., Versuchsanleitung zum Versuch Messung der Lebensdauer angeregter Kernzustände durch verzögerte γ - γ -Koinzidenzen
- Tipler, Physik
- Stöcker, Taschenbuch der Physik
- Römpp, Chemisches Lexikon