Robert Wagner
132
Niklas Beisert
Bernhard Kirchlechner

Fortgeschrittenen-Praktikum

Versuch Nr. 21

Lebensdauer-Messung

22. April 1999

Inhaltsverzeichnis

Einführung

Als Einführung erscheint uns Kritik an dem Versuch sinnvoll, so here we go:
Der Versuch hat Spaß gemacht, wir haben einiges über die genutzte Elektronik gelernt. Gut daß man selber hier und da etwas an ändern konnte und mußte und sich der Versuch damit nicht nur auf die spätere Auswertung konzentrierte, die wir sowieso schon in anderen Versuchen gemacht haben. Er war nicht zu lang, nicht zu kurz, die Ausarbeitung war gut machbar.

1 Eichungen

1.1 Energie

Zunächst wurde die Energieeichung des Vielkanalanalysator vorgenommen. Dazu benutzten wir die 511keV-Linie des ^{22}Na und die 122keV-Linie des ^{57}Co (Abb. 1). Schade eigentlich, daß diese Messung für unseren weiteren Versuch vollkommen unnötig war, denn die Einstellungen des Hauptverstärkers wurden geändert, bevor wir eine Kanal-Energie zuordnung benötigten. Später widerholten wir die Eichung mit den 133keV- und 482keV-Linien des ^{181}Hf (Abb. 9).

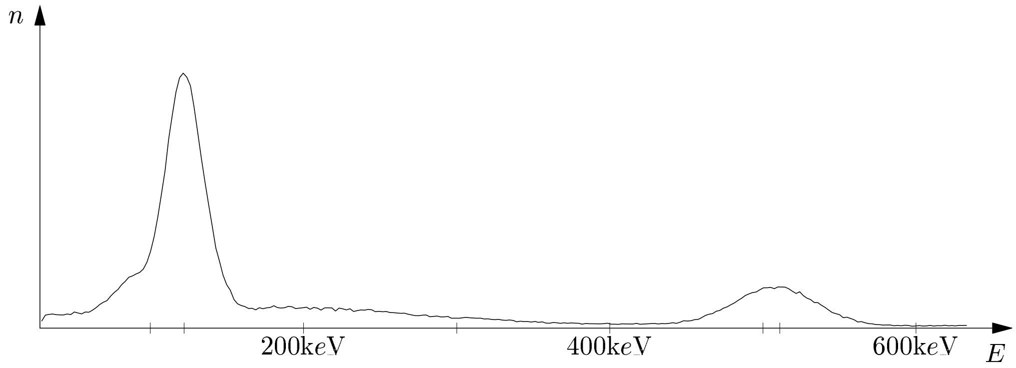

Abb. 1: Energie-Eichung mit ^{22}Na und ^{57}Co

1.2 Effizienz

Um die energieabhängige Effizienz des Detektors zu abzuschätzen benutzten wir wiederum die Na- und Co-Proben, von denen wir die gegenwärtige Aktivität berechnen konnten. Die Na-Probe hatte am 1. Januar 1987, also 4494d vor der Versuchsausführung eine Aktivität von 48.5kBq und mit einer Halbwertszeit von 950d am Versuchstag eine Aktivität von 1.829kBq. Die relative Unsicherheit des Zerfalls liegt unter 10^{-6}, weil seit dann mehr als 10^{12} Zerfälle stattgefunden haben, also vernachlässigbar gering. Die gemessene Aktivität betrug (195.5 ± 0.8)Hz, die Effizienz ist demnach 0.1069 ± 0.0005 bei 511keV (Abb. 2). Das Gebirge am unteren Rand des Spektrums entsteht übrigens, wenn das gestreute γ-Quant bei Compton-Effekt im Szintillationszähler entweicht. Damit entsteht ein kontinuierliches Spektrum im unteren Energiebereich.

Entsprechendes für die Co-Probe, die am 1. Oktober 1997 eine Aktivität von 335kBq hatte. Nach den 568d blieben bei einer Halbwertszeit von 271d immer noch 78.358kBq. Im Versuch ergaben sich (17.566 ± 0.017)kHz, die Effizienz bei 122keV also 0.22418 ± 0.00022 (Abb. 3).
Die Effizienz gehorcht in dem betrachteten Bereich einem Potenzgesetz, das nun bestimmt werden kann

$$\varepsilon \approx 2.67 \cdot (E/\mathrm{keV})^{-0.517}.$$

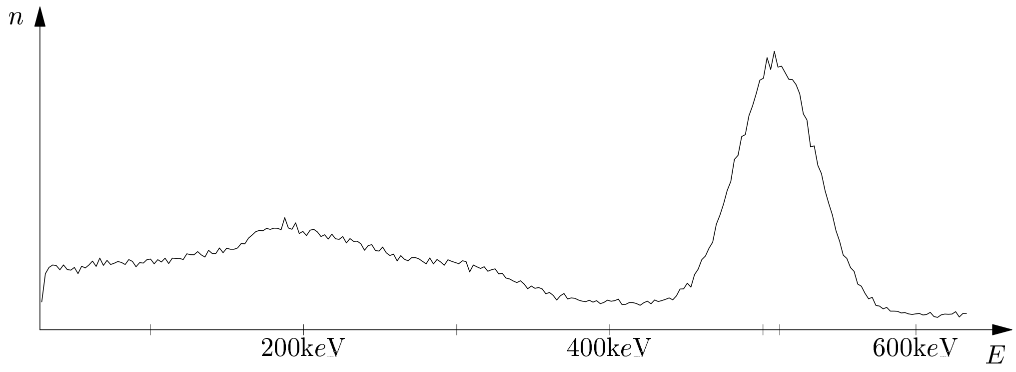

Abb. 2: Effizienz-Eichung mit ^{22}Na

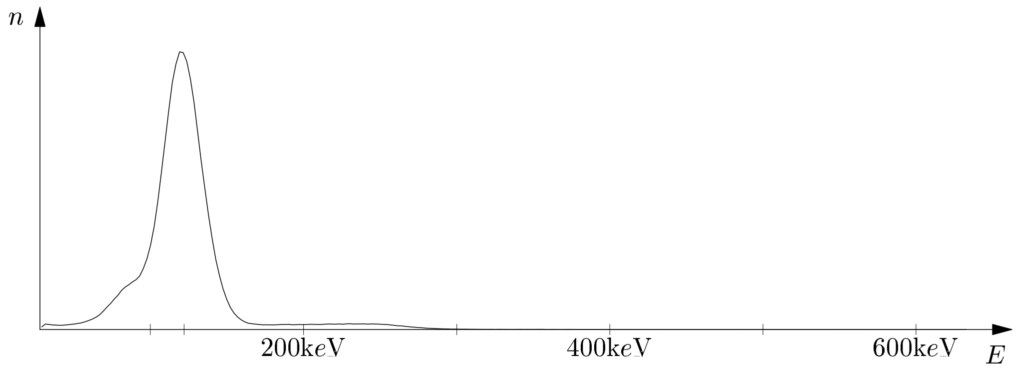

Abb. 3: Effizienz-Eichung mit ^{57}Co

1.3 Zeit

Die Zeit haben wir geeicht, indem wir ein und dasselbe Signal als Start und Stopp benutzten, jedoch das Stoppsignal noch über eine Verzögerungsstrecke von 20ns, 40ns und 80ns schickten (Abb. 4). Als Kanalzuordnung dient

$$\Delta t = (0.03419c - 1.45)\mathrm{ns}.$$

Bei einer Verzögerungsstrecke von 80ns plus 4.06m Koaxialkabel erhielten wir eine Verzögerungszeit von $(80 + 23.1)$ns. Das Licht hätte für die 4.06m lediglich 13.5ns benötigt, das Koaxialkabel hat also für die geleiteten Signale einen Brechungsindex von etwa 1.71.

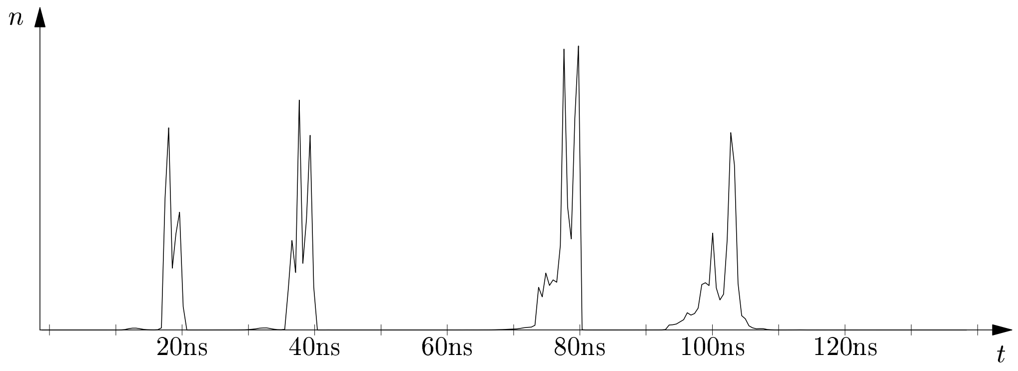

Abb. 4: Zeit-Eichung

2 Lichtgeschwindigkeitsmessung

^{22}Na-Kerne zerfallen größtenteils unter Aussendung von β^+-Strahlung, und diese Positronen vernichten sich mit den allgegenwärtigen Elektronen in zwei Photonen entgegengesetzter Richtung. Trifft das eine auf den einen Detektor, triff das andere auf den anderen. Mißt man die Zeitdifferenz der beiden Detektor-Signale bei verschiedenen Abständen der Detektoren von der Quelle, so kann man die Geschwindigkeit der Photonen bestimmen. Zum einen haben wir beide Detektoren direkt an die Quelle gestellt, zum anderen haben wir einen Detektor 47cm von der Quelle entfernt.
Die Zeitdifferenz jeder der beiden Versuche war normal um einen Mittelwert gestreut (Abb. 5, 6). Um den Mittelwert möglichst exakt zu bestimmen haben wir nur jene Kanäle betrachtet, in denen mindestens 0.1% aller aufgezeichneten Ereignisse lagen, und den dann die mittlere Kanalnummer $\mu = \sum_c cn(c)/N$, $N = \sum_c n(c)$ bestimmt. Diese betrugen 1219 ± 0.25 und 1261 ± 1, die resultierende Zeitdifferenz ist $1.436\text{ns} \pm 2.5\%$ oder in Länge ausgedrückt 43.05cm oder ein Brechungsindex von 1.09, was sehr zufriedenstellend ist.
Als Meßfehler wurde die Breite $\sigma = (\sum_c (c-\mu)^2 n(c)/N)^{1/2}$ des Peaks durch $\sqrt{N}$ geteilt. Das ist lediglich der Ablesefehler zu einer nicht allzu großen Wahrscheinlichkeit. Hinzu kommen zumindest noch geometrische Aspekte und der Eichfehler, so daß der offensichliche gemachte Fehler von 9% möglich erscheint.

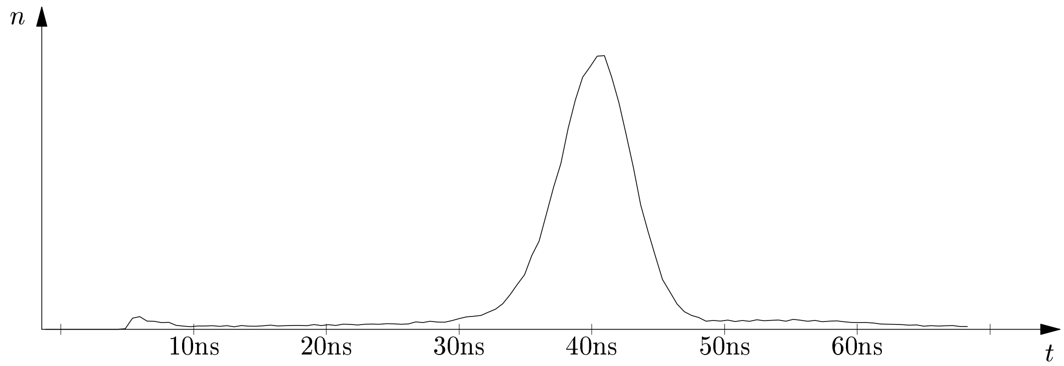

Abb. 5: Lichtgeschwindigkeitsmessung mit Abstand 0cm

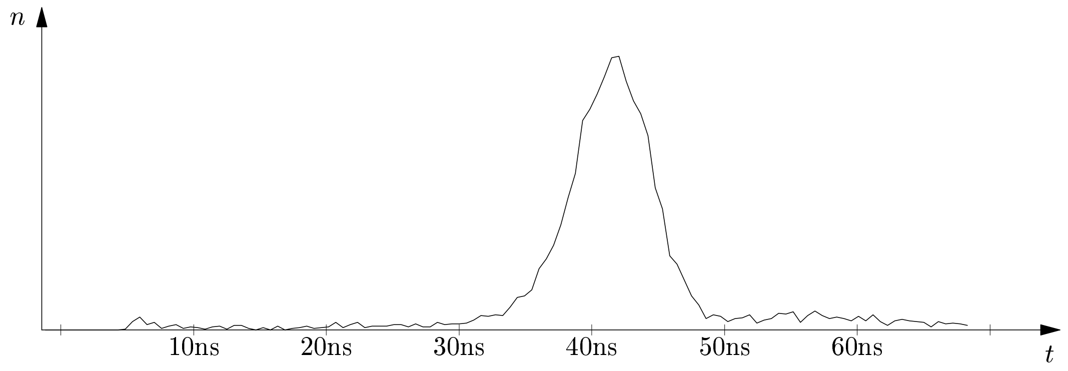

Abb. 6: Lichtgeschwindigkeitsmessung mit Abstand 47cm

3 Lebensdauermessung

Um die Lebensdauer aus dem gemessenen Zeit-Spektrum (Abb. 7) zu bestimmen, betrachteten wir einen Bereich zwischen 50ns und 90ns, in dem das Spektrum exponentiell abfällt. Dort summierten wir über 16 Werte, wie auch bei allen anderen dargestellten Spektren, und berechneten die Steigung der Ausgleichsgeraden in halblogarithmischer Darstellung (Abb. 8). Die Steigung der Ausgleichsgeraden beträgt 0.0957/ns $\pm$ 5% (der Eichfehler wurde nicht beachtet), das Inverse, die Halbwertszeit, ist (10.45 ± 0.5)ns, und stimmt gut mit den angegebenen 10.8ns überein.

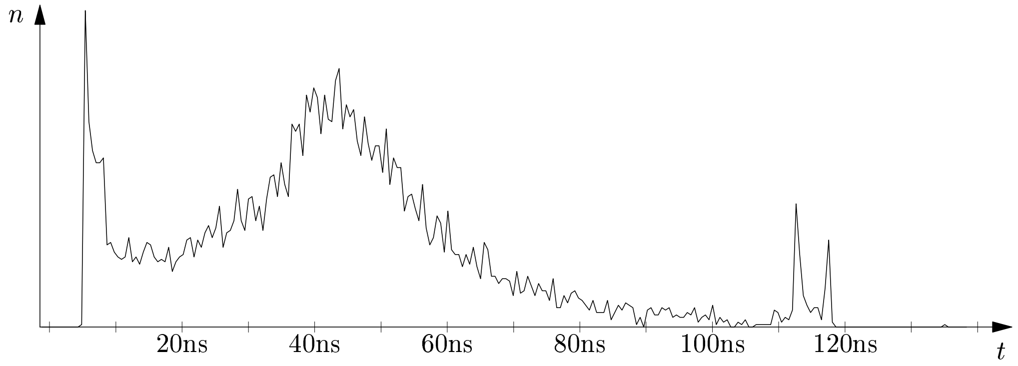

Abb. 7: Lebensdauermessung

4 Aktivitätbestimmung der Quelle

Um die Aktivität der Hf-Probe zu bestimmten wir zunächst die Zählraten im Bereich der drei Peaks des Spektrum in Abb. 9. Es ergab sich (26.7 ± 0.4)Hz bei 56keV, (110.8 ± 0.8)Hz bei 133keV und (35.2 ± 0.4)Hz bei 482keV. Zusammen mit der Effizienz-Eichung sind das 80.1Bq, 520Bq und 321Bq. Immerhin ist $0.85 \cdot 520$Bq $=$ 442Bq und 321Bq änhlich groß, was zu erwarten ist, weil auf einen Zefall des $1/2^+$-Zustands des ^{181}Hf in den $5/2^+$-Zustand (133keV) zu 85% ein Zerfall in den $7/2^+$-Zustand (482keV) folgt. Die Probe hat damit eine Aktivität von mindestens 921Bq unter 500keV.
Der Peak bei 56keV mag die K_α-Röntgenlinien bei ca. 52keV darstellen. [4].

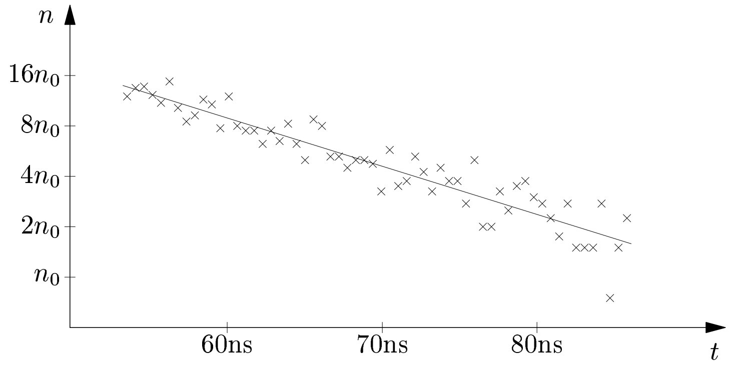

Abb. 8: Messung der Halbwertszeit

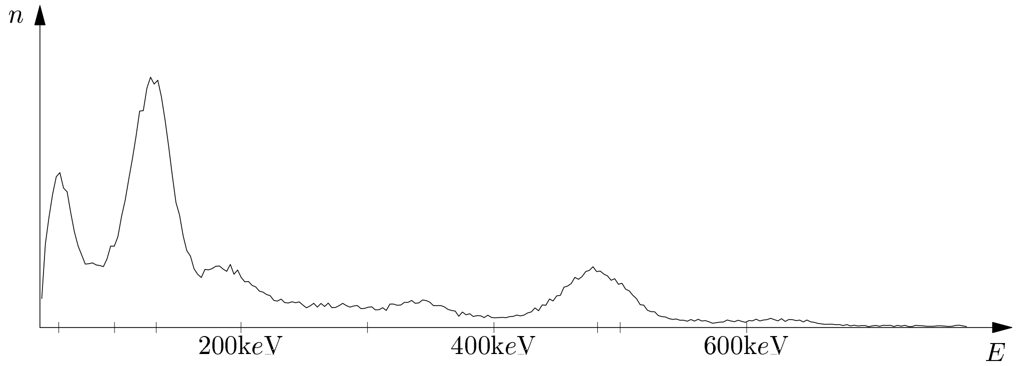

Abb. 9: Spektrum von ^{181}Hf

5 Aktivitätschätzung eines Homo Sapiens

Um zu berechnen, wieviel Strahlung ein Mensch natürlich aussendet, muß man wissen, wieviel reiner Kohlenstoff bzw. reines Kalium in einem Menschen drin ist.
Da angeblich 90% Wasser sind, bleiben nur noch 10% und das ist nicht alles Kohlenstoff. Vielleicht sind 6kg ein ein brauchbarer Schätzwert für eine nicht allzu gewichtige Person. Kohlenstoff im natürlichen Verhältnis hat eine Aktivität von 16.1/ming [2], was sich in etwa mit einem Anteil von 10^{-12} ^{14}C in ^{12}C deckt (in Masse oder in Kernanzahl?). Die geschätzten 6kg Kohlenstoff eines Menschen haben also eine Aktivität von 1.6kBq.
Für Kalium nehmen wir 0.2% [4] an, und davon sind wiederum nur 0.01% aktives ^{40}K, bei 80kg Mensch also 16mg oder $2.4 \cdot 10^{20}$ Kerne ^{40}K. Die Zerfallskonstante ist $1.5 \cdot 10^{-17}$/s und die Aktivität durch ^{40}K-Zerfall 3.6kBq.
Ein Mensch hat also eine Aktivität von der Größenordnung 5kBq, und das sind nur ca. 20% der natürlichen Strahlenbelastung [3].
Von den Proben mit denen wir arbeiteten, war nur die Co-Probe mit 78kBq so aktiv, wie ein sehr aktiver Mensch. Allerdings muß man auch beachten, daß die Probe viel konzentrierter ist als ein Mensch Wenn man Abstand zu der Probe hält, ist die Probe sicherlich ungefährlicher als eine Menschenmenge.

6 Fragen

1. Wenn durch die Winkelkorrelation 180° unwahrscheinlich sind, dann können beide γ-Quanten nur schwer von den verschiedenen Detektoren aufgenommen werden. Wenn die Aktivität so hoch ist, daß das Stopp-Signal wahrscheinlicher von einem anderen Zerfall kommt, wird das Ergebnis stark von einer anderen Verteilung überlagert.

2. Die Polarisation des ausgestrahlten γ-Quants kann Auswirkungen auf den Kern haben, die bei dem zweiten Zerfall Auswirkungen auf die Polarisation haben.

3. Bei sehr schnellen Zerfällen kann man die Breite der Linien bestimmen, die umgekehrt proportional zu der Halbwertszeit ist. Bei sehr langsamen Zerfällen nehme man eine Stoppuhr.

Literatur

[1] N. N., *Messung der Lebensdauer angeregter Kernzustände durch verzögerte γ-γ-Koinzidenz* (Versuchsanleitung)

[2] H. Vogel, *Gerthsen Physik*, Springer-Verlag, 19. Auflage

[3] Povh, Rith, Scholz, Zetsche, *Teilchen und Kerne*, Springer-Verlag, 4. Auflage

[4] S. Fritsch, S. Stufler, *Messung der Lebensdauer angeregter Kernzustände durch verzögerte γ-γ-Koinzidenz* (Versuchsausarbeitung)