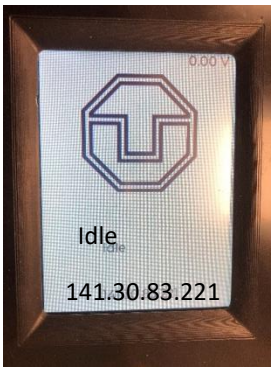
Anleitung zur Versuchsdurchführung RM3: Neutronenaktivierung

Aufgabenstellung

In diesem Experiment werden Proben mit Neutronen aus einer Amerizium-Beryllium (Am-Be)-Neutronenquelle bestrahlt. Die entstehenden Kerne sind β-Minus-Strahler. Die β-Strahlung wird mittels eines Szintillationsdetektors detektiert und die Zählrate in konstanten Zeitintervallen aufgezeichnet. Aus diesen Messungen werden die Halbwertszeiten und die erreichten Aktivitäten der aktivierten Proben bestimmt.

Das Experiment umfasst folgende Schritte:

1. **Detektoraufbau und Kalibrierung** mit einer bekannten β-Quelle (^{137}Cs).
2. **Messung der thermischen Neutronenflussdichte** mittels Goldproben (eine abgeschirmt durch Kadmium während der Aktivierung, eine unabgeschirmt).
3. **Aktivierung weiterer Proben** (Al, Ag, V, Mn, NaCl) und Analyse ihrer zeitabhängigen β-Zählraten.

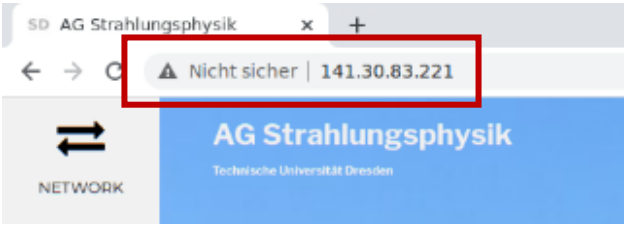


Ziel ist die Identifikation der Reaktionsprodukte durch Analyse der zeitabhängigen β-Strahlungsintensität.

Detektoraufbau und Kalibrierung

PC-Detektor-Verbindung

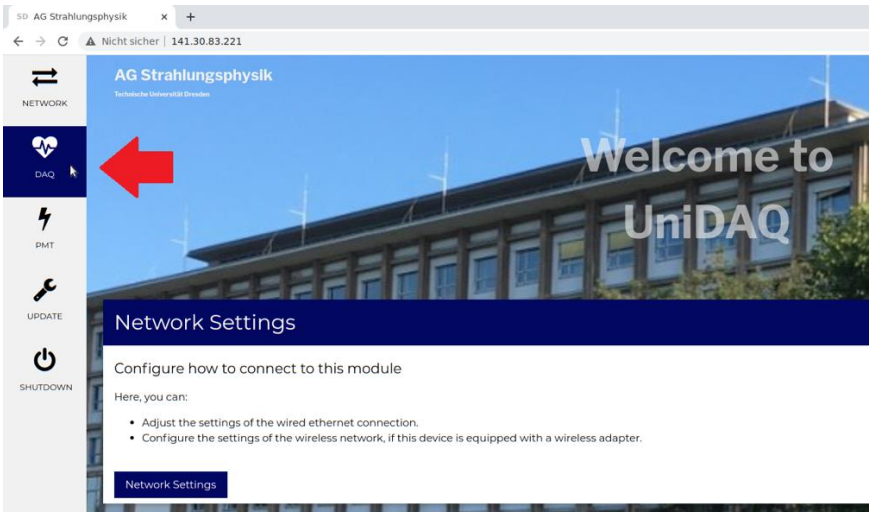
1. Überprüfen Sie die Verbindung von Detektor mit Messgerät (Signal und Spannung)
2. Auf dem Messgerät (Digitizer) finden Sie die IP-Adresse (z. B. 141.30.83.XXX, siehe Abbildung).
3. Öffnen Sie Google Chrome und geben Sie die IP-Adresse des Detektors in die Adressleiste ein.



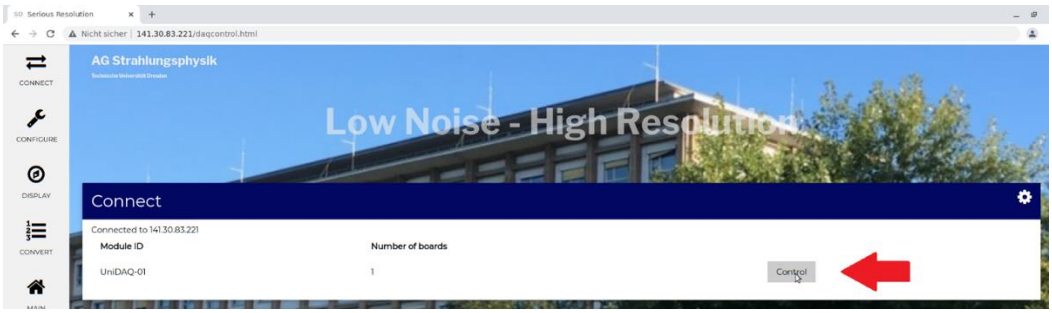
Dies öffnet die **Weboberfläche** des Detektors zur Konfiguration und Steuerung der Messungen.

Detektorkonfiguration

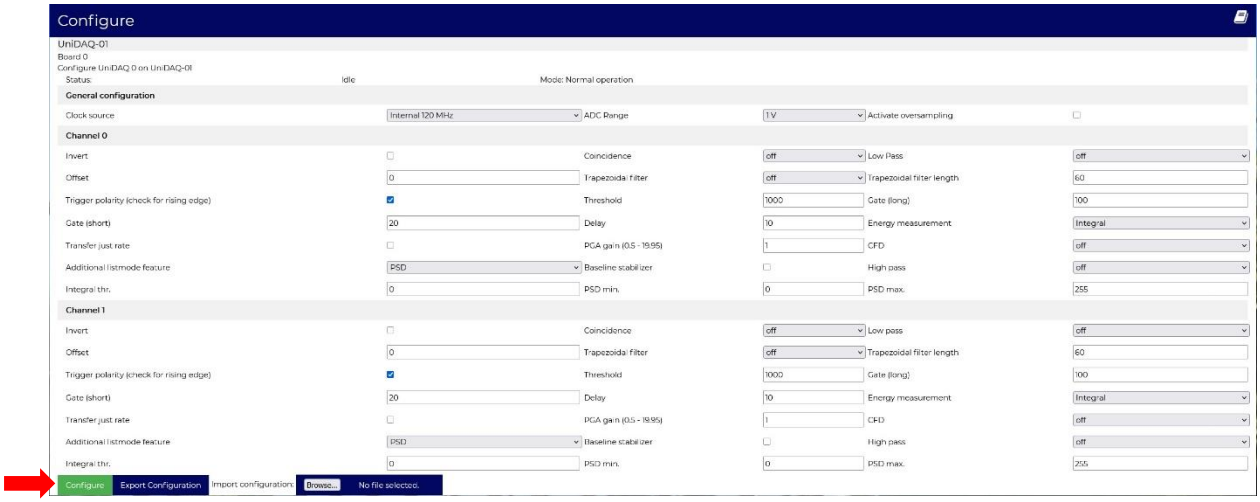
1. Klicken Sie auf den **DAQ-Button**.



2. Klicken Sie auf den **Control-Button**.

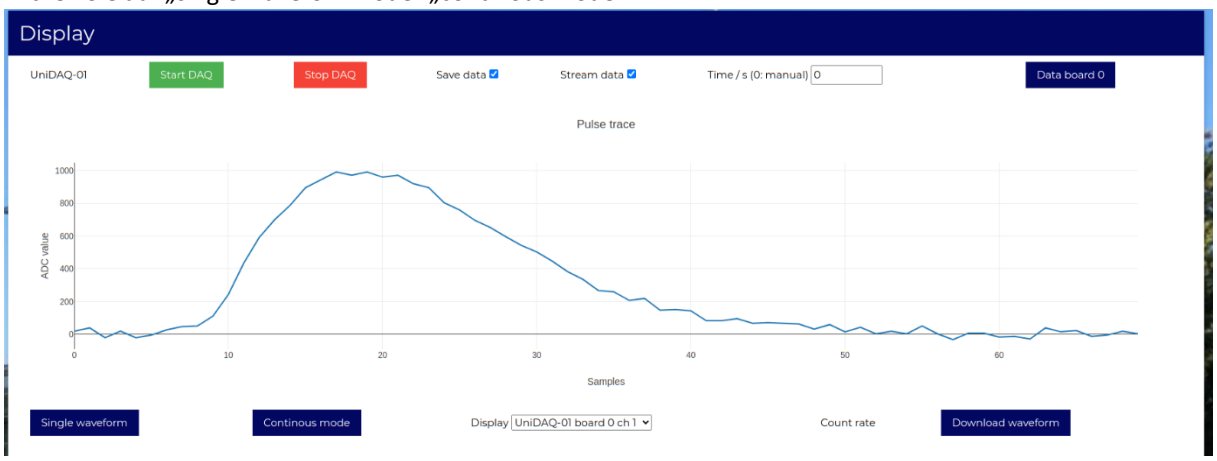


3. Ändern Sie die Konfigurationsparameter und drücken Sie **„Configure“**.



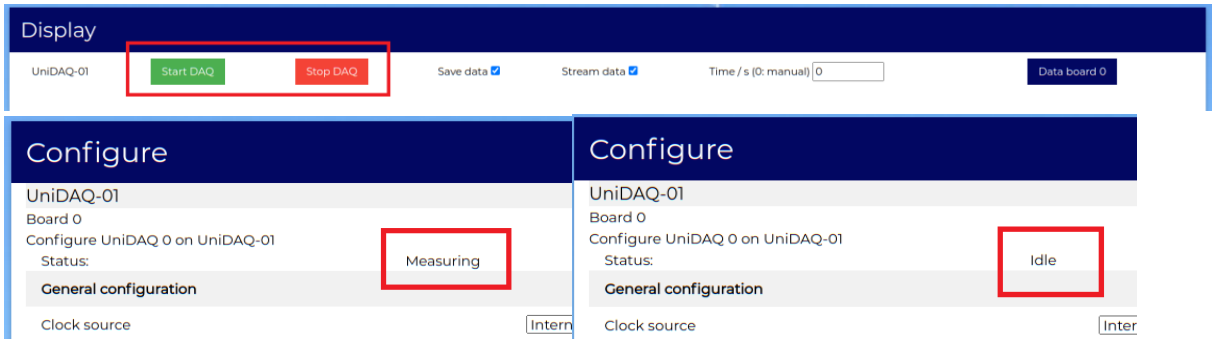
Messung

1. Klicken Sie auf „single waveform“ oder „continous mode“.



Passen Sie die Einstellungen an (Offset, Threshold, Long Gate, …).

2. Drücken Sie **„Start DAQ“** zum Messbeginn (Status wechselt zu **„Measuring“**).

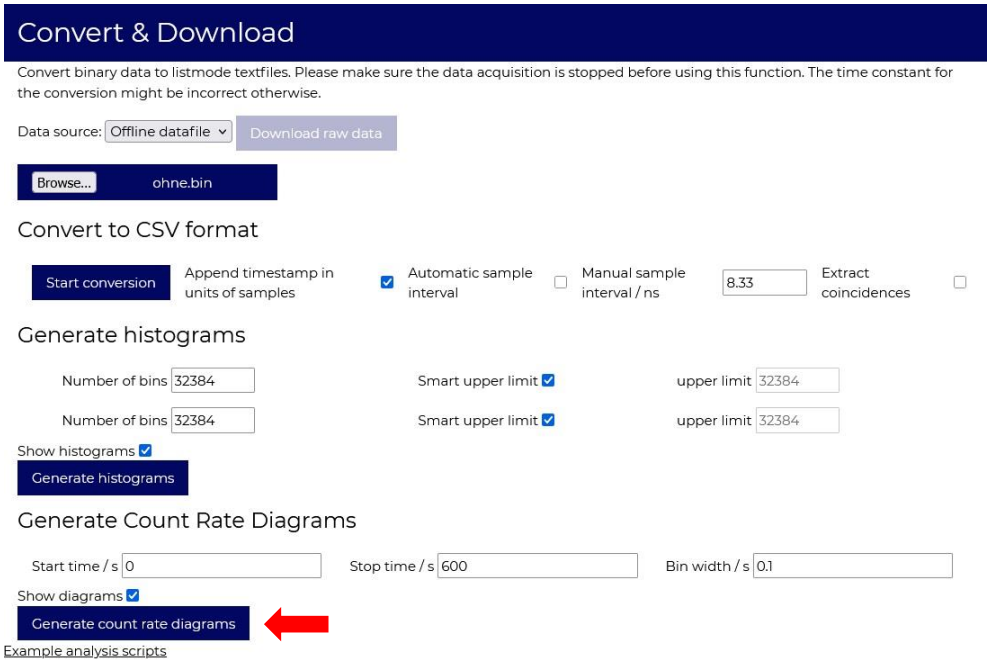


3. Drücken Sie **„Stop DAQ“** zum Messende (Status zurück zu **„Idle“**).

Datenexport

1. Klicken Sie auf den **„Data board“**-Button, um Rohdaten (binär) zu speichern. Dies bitte unbedingt nach jeder Messung. Die Konvertierung in Text und Histogramme kann mit diesen Daten wiederholt werden.

2. Scrollen Sie zu „Convert & Download“.
3. Wählen Sie als Datenquelle: **UniDAQ-01** für die letzten Messdaten oder **„Offline Datafile“** um vorige Messungen erneut zu konvertieren.
4. Klicken Sie auf **„Generate count rate diagram“**. Dies erzeugt eine „xxxx_countrate.txt“-Datei im Download-Ordner. Ihnen wird das Diagramm angezeigt und es wird heruntergeladen.



Datenformat

```
#Sample interval: 16.6667 ns
#Start time: 0 s
#Stop time : 600 s
#Bin width : 0.1s
#Format:
#time/s (center);rate ch.0 / s^-1;rate ch.1 / s^-1
0.05;0;0
0.15000000000000002;0;0
0.25;0;0
0.35000000000000003;0;0
0.45;0;0
0.55;0;20
0.65;0;0
0.75;0;10
```

Die Rohdaten liegen in einem Text-Format vor, wobei Werte durch **„;“** getrennt sind. Spalten:

- time/s
- Zählrate Channel 0 (bereits in Ereignissen pro Sekunde, unabhängig vom gewählten Binning)
- Zählrate Channel 1

Anleitung zur Datenanalyse

Die Messungen werden im **Downloads**-Ordner gespeichert und können nun ausgewertet werden. Hierfür können Sie ein Jupyter Notebook verwenden. Sie erreichen es hier:

http://141.76.18.89:8000/

Benutzername: praktikum1 oder praktikum2, Passwort: 00Siede.. (zwei Punkte am Ende)

Sie finden hier im Hauptordner ein Beispiel für den Datenimport für die Zählratenhistogramme. Ebenso finden Sie hier das im Praktikum empfohlene Skript zur Kurvenanpassung.

Bitte erzeugen Sie einen neuen Ordner für Ihre Gruppe und laden auch nur in diesen die Zählraten-Dateien zur Analyse hoch.

Aufgabe 0: Detektorkalibrierung mit ^{137}Cs β-Quelle

Stellen Sie sicher, dass der Detektor korrekt konfiguriert ist, bevor Sie messen. Die Kalibrierung erfolgt mit einer ^{137}Cs-Quelle, um das Detektorverhalten zu validieren und Einstellungen (Schwellenwert, Hochspannung) für die folgenden Messungen zu optimieren.

Kalibrierung

Untergrundüberprüfung. Stellen Sie sicher, dass die Zählrate des Detektors ohne Probe nahe Null liegt. Falls die Untergrundzählrate 2 Impulse pro Sekunde (cps) überschreitet:

Erhöhen Sie den Schwellenwert oder Verringern Sie die Hochspannung.

Messung mit Quelle Quelle. Platzieren Sie die **^{137}Cs-Quelle** und beobachten Sie das Pulshöhen-Histogramm. Wenn dieses zu komprimiert erscheint (z. B. unzureichende Auflösung):

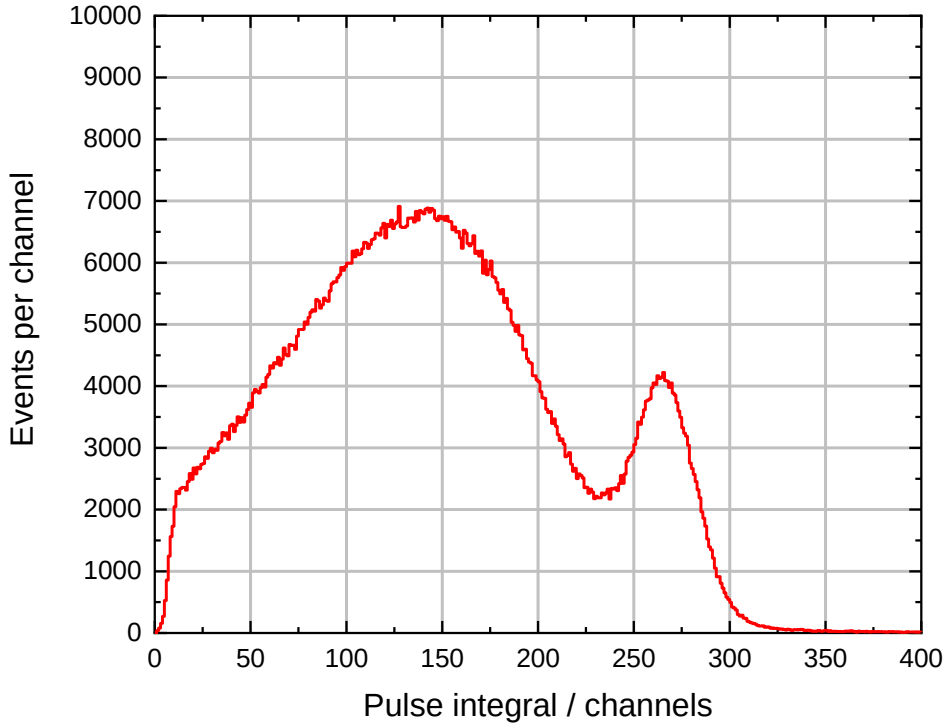
Verringern Sie den Schwellenwert oder **erhöhen Sie die Hochspannung**.

Schrittweise Optimierung: Wiederholen Sie die Anpassungen bis:

- Die Untergrundzählrate ist minimal (<2 cps)
- Das Pulshöhen-Histogramm ist klar aufgelöst ist

Anpassung der Detektoreinstellungen (Detektorschwelle/Hochspannung):

1. Laufende Messung anhalten ("Stop DAQ")
2. Parameter in der Konfigurationsdatei anpassen
3. Änderungen übernehmen ("**Configure**" drücken)
4. Messung neu starten ("Start DAQ")



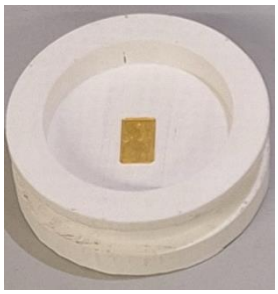
Beispiel-Pulsladungshistogramm der ^{137}Cs-Quelle. Die Kanalnummern können aufgrund unterschiedlicher Hochspannungs- und Einstellungen variieren.

Ins Protokoll

Im Protokoll müssen enthalten sein:

1. Detektorparameter: Angelegte **Hochspannung** und Triggerschwelle (Threshold).
2. Quellenmessungen:
   - **Zählrate** (cps) der ^{137}Cs-Quelle.
   - Pulsladungshistogramm (Energiespektrum).
3. Vergleich mit dem bekannten β-Spektrum von $\mathbf{^{137}Cs}$ (Nudat3-Datenbank).

Aufgabe 1: Messung der thermischen Neutronenflussdichte



Diese Aufgabe dient der Messung der thermischen Neutronenflussdichte. Dafür verwenden wir Gold, da es aufgrund seines großen Wirkungsquerschnitts besonders leicht zu aktivieren ist.

Obwohl Gold thermische Neutronen effizient einfängt, ist zu beachten, dass die Aktivierung sowohl durch thermische als auch durch energiereichere Neutronen erfolgt (erkennbar an Resonanzpeaks in der Wirkungsquerschnittskurve). Um den Beitrag der thermischen Neutronen zu isolieren, verwenden wir eine Differenzialmessung mit zwei identischen Rein-Gold-Proben:

1. Eine Cadmium-abgeschirmte Probe (Cadmium absorbiert alle Neutronen mit Energien < 0.5 eV).
2. Eine unabgeschirmte Referenzprobe.

Beide Proben wurden bereits vor dem Versuch bis zur Sättigungsaktivität bestrahlt und können nun entnommen werden.

Durchführung

1. Führen Sie jede aktivierte Goldprobe in den Detektor ein und achten Sie auf identische Positionierung bei beiden Messungen.
2. Messen Sie die β-Aktivität jeder Probe über einen Zeitraum von 10 Minuten.
3. Stellen Sie sicher, dass die Detektoren für beide Messungen einheitlich konfiguriert und positioniert sind.

Gegebene Daten

- Probenmasse: 1 g (für beide Proben)
- Thermisch gemittelter Wirkungsquerschnitt für die Reaktion $^{197}\mathrm{Au}(\mathrm{n},\gamma)^{198}\mathrm{Au}$: $(98{,}65 \pm 0{,}09)$ b.
- Sättigungsaktivität der unabgeschirmten Goldprobe (bestimmt durch Koinzidenzmessung): $(57{,}4 \pm 0{,}2)$ kBq
- Kerneigenschaften von $^{198}\mathrm{Au}$: (zum Nachschlagen, Nudat3 Datenbank)):
  - Halbwertszeit des β-Zerfalls
  - Wahrscheinlichkeit der Elektronenemission
  - Mittlere β-Energie
  - Assoziierte Photonenemissionen

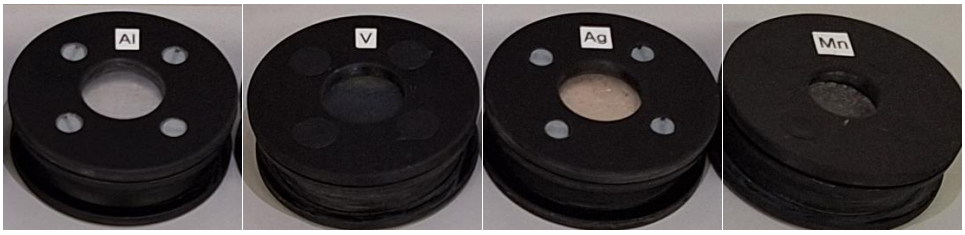
Ins Protokoll

Ihr Protokoll muss enthalten:

1. Den berechneten Anteil der Aktivität, der spezifisch auf thermische Neutronen zurückzuführen ist.
2. Die abgeleitete thermische Neutronenflussdichte.
3. Die Detektoreffizienz für die Goldproben.
4. (Optional) Vergleich der Aktivitätsmessungen zwischen der Ober- und Unterseite der unabgeschirmten Goldprobe.

Alle berechneten Werte müssen mit Unsicherheiten angegeben werden.

Aufgabe 2: Zeitabhängigkeit und Detektoreffizienzen verschiedener Proben



In dieser Aufgabe untersuchen Sie, wie verschiedene Materialien auf Neutronenstrahlung reagieren, indem Sie deren β-Zerfall der Reaktionsprodukte über die Zeit hinweg messen. Ziel ist es, zu bestätigen, dass die beobachteten Muster mit den mit verschiedenen Nukliden in Zusammenhang zu bringen.

Sie arbeiten mit folgenden Proben:

- Aluminium (Legierung 7075, glatte Oberfläche): 3,5 Gramm
- Aluminium (Legierung 7075, geriffeltete Oberfläche): 3,6 Gramm
- Reines Silber: 6,27 Gramm
- Reines Vanadium: 0,21 Gramm
- Reines Mangan: 0,37 Gramm
- Natriumchlorid (Kochsalz): 0,5 Gramm

Durchführung

1. Wählen Sie mindestens zwei Materialien.
2. Planen Sie Ihren Versuch:
   - Bestimmen Sie, welche Kernreaktionen bei jeder Probe auftreten werden.
   - Berechnen Sie, wie lange jede Probe exponiert werden muss, um 95% der maximalen Aktivität zu erreichen.
   - Entscheiden Sie, wie lange die Strahlung jeder Probe gemessen werden soll.
3. Experiment durchführen:
   - Bestrahlen Sie die Probe in der Neutronenquelle.
   - Wenn er die Zielaktivität erreicht, platzieren Sie die Proben zügig auf dem Detektor.
   - Beginnen Sie sofort mit den Messungen, um zu verfolgen, wie sich die Strahlung im Laufe der Zeit verändert.

Die Koordination innerhalb der Gruppe ist wichtig für das Experiment. Beginnen Sie mit der Aufzeichnung der Daten genau dann, wenn Sie die Probe aus der Neutronenquelle entfernen (dies ist der Zeitpunkt Null in Ihren Messungen).

Daten

Die Masse und Zusammensetzung der Proben ist oben angegeben. Ziel der Messung ist die Aufnahme der Zählrate über der Zeit.

Für jede von Ihnen ausgewählte Probe recherchieren Sie bitte (Nudat3 Datenbank):

- Die spezifische Kernreaktion, die auftritt
- Die mittlere Energie der emittierten β-Teilchen
- Halbwertszeit, Emissionswahrscheinlichkeit und Wirkungsquerschnitt

Ins Protokoll

Folgende Messungen sind im Protokoll zu dokumentieren:

- Zeitabhängigkeit der Zählrate. Überprüfen Sie, ob diese Messwerte mit den erwarteten Reaktionsprodukten übereinstimmen. Dies durch eine (oder zwei) Kurvenanpassungen zu erledigen!
- Erreichte Aktivität nach der Bestrahlung. Verwenden Sie für diese Berechnungen die in Aufgabe 1 ermittelte Neutronenflussdichte.
- Abschätzung der Detektoreffizienz. Bestimmen und dokumentieren Sie die Effizienz des Detektors für jede Probe. Hierfür können Sie eine Extrapolation der angepassten Abklingkurve zum Nullpunkt Ihrer Messung nutzen (dies ergibt die hypothetische Zählrate zum Zeitpunkt, als die Probe entfernt wurde).

Zusätzlich:

- Erstellen Sie eine Zusammenfassung der Detektoreffizienzen aller untersuchten Proben (einschließlich Gold aus Aufgabe 1).
- Analysieren und diskutieren Sie, wie diese Effizienzen von folgenden Faktoren abhängen:
  - Probengeometrie
  - Mittlere β-Energie der Zerfallsprodukte

Alle angegebenen Werte sind mit einer geeigneten Unsicherheitsanalyse zu versehen.