Anleitung zum Versuch 2.2b Umweltradioaktivität

(*γ*-Spektrometrie an Umweltproben)

Physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene (Abteilung C) Dr. Jonny Birkhan



Inhaltsverzeichnis

1	Hinweise für die Vorbereitung	2
	1.1 Fragenkatalog	2
2	Hausaufgabe	4
	2.1 Natürliche Aktivität von ⁴⁰ K	4
	2.2 Aktivitätsverlauf innerhalb einer Zerfallsreihe	4
3	Signalanalyse am Beispiel des Cadmium-Zink-Tellur-Detektors	6
4	Detektorkalibrierung	9
5	Messung von Umweltproben und Radionuklidbestimmung	13
6	Hintergrundmessung	15
7	Teemessung	16
8	Kalibrierung eines Dosisleistungsmessgeräts	17
9	Dosisleistungsmessung an einem aktivierten Bauteil des S-DALINAC	19
10	Radioaktivität im Schulversuch	20

1 Hinweise für die Vorbereitung

- 1. Auf der Praktikumswebsite wird neben dieser Anleitung eine sogenannte Literaturmappe zur Verfügung gestellt. In dieser werden alle für den Versuch relevanten Themen aufgearbeitet und soll als Grundlage für die Vorbereitung zu diesem Versuch dienen.
- 2. In der Literaturmappe werden die wesentlichen Teile des Versuchs weitreichend genug erklärt, um nur vereinzelt auf zusätzliche Literatur zurückgreifen zu müssen. Nehmen Sie sich daher Zeit zum Studieren dieser Literaturmappe.
- 3. Falls nötig, studieren Sie die in der Literaturmappe angegebenen Literaturquellen am besten so, dass Sie die geforderten Begriffe zunächst nachschlagen und von diesen Textstellen ausgehend Ihr Wissen vertiefen, soweit das nötig ist, um die gestellten Fragen beantworten zu können.

1.1 Fragenkatalog

Sie sollten insbesondere für die Durchführung des Versuchs mindestens auf folgende Fragen antworten können:

- 1. Was sind die Strahlenschutzgrundsätze der Strahlenschutzverordnung?
- 2. Was sind Radionuklide?
- 3. Welche Radionuklide lassen sich typischerweise in der Umwelt nachweisen?
- 4. Woher stammen die Radionuklide in der Umwelt?
- 5. Wie lautet das Zerfallsgesetz? Leiten Sie es ab.
- 6. Was bedeuten die Begriffe: Zerfallswahrscheinlichkeit, Zerfallsrate, Aktivität, Brutto/Netto?
- 7. Welches sind die natürlichen Zerfallsreihen?
- 8. Was ist die spezifische Aktivität?
- 9. Wie kann die spezifische Aktivität eines Radionuklids in einer Umweltprobe bestimmt werden?
- 10. Was bedeuten die Begriffe Dosis und Dosisleistung?
- 11. Wie hoch ist die durchschnittliche Strahlenexposition einer Einzelperson der Bevölkerung in Deutschland?
- 12. Wie wird das Risiko einer Krebserkankung infolge einer Expositionsituation abgeschätzt?
- 13. Ab welcher Dosis können Todesfälle infolge der Strahlenexposition auftreten?
- 14. Durch welche Prozesse wechselwirkt Gamma-Strahlung mit Materie?
- 15. Wie wird Gamma-Strahlung mit Halbleiterdetektoren gemessen?
- 16. Wie funktioniert die Umsetzung eines analogen Signals in ein digitales allgemein und im Speziellen bei zählenden Messungen?
- 17. Was ist eine Messkette?

- 18. Wie stelle ich sicher, dass mein Messaufbau sinnvolle Messwerte liefert?
- 19. Was bedeuten die Begriffe: Messgrösse, Messergebnis, Messunsicherheit, bester Schätzwert, Erkennungsund Nachweisgrenze?

2 Hausaufgabe

Literaturhinweis: Literaturmappe Kapitel 2

2.1 Natürliche Aktivität von ⁴⁰K

...Kalium gehört mit Gehalten von 2,6 Gewichtsprozent zu den zehn häufigsten Elementen der oberen Erdkruste. Gesteinsbildende Minerale mit Kalium sind im Granit der Kalifeldspat (Orthoklas) und der Kaliglimmer (Muskovit), in sedimentären Kalisalzen Sylvin KCl und Carnallit KMgCl $3 \cdot 6H_2O$. Aus letzteren werden große Mengen Mineraldünger für die Landwirtschaft hergestellt. Kalium hat 3 natürliche Isotope: Kalium-39 (93,2581 Gewichtsprozent), Kalium-41 (6,7302 %) und Kalium-40 (0,0117 %). Kalium-40 zerfällt mit einer Halbwertszeit von 1,28 Ga und einer Übergangswahrscheinlichkeit von 89,3 % unter Emission von Betastrahlung (1,31 MeV) zu stabilem Calcium-40 und mit einer Übergangswahrscheinlichkeit von 10,7 % unter K-Einfang und Emission von Gammastrahlung (1,46 MeV) zu stabilem Argon-40. Kalium-40 bildet somit keine Zerfallsreihe. Zur gesamten natürlichen Strahlenexposition des Menschen trägt Kalium-40 circa 12 % bei... [Auszug aus [Phil06]].

Aufgaben

- 1. Skizzieren Sie das Zerfallsschema von ⁴⁰K.
- Berechnen Sie die ⁴⁰K-Aktivität einer Flasche Mineralwasser mit Inhalt von 0,7 l (Saturn-Quelle: 18.7 mg/l Kalium-Konzentration nach Analyse Institut Fresenius, Taunusstein, vom 09.04.1996).
- 3. Berechnen Sie die ⁴⁰K-Aktivität eines Menschen. In etwa enthält ein Mensch 150 g Kalium-nat.

2.2 Aktivitätsverlauf innerhalb einer Zerfallsreihe

Auf der Praktikumswebsite finden Sie eine LibreOffice Tabellenkalkulationsmappe mit dem Namen Zerfallsreihe, siehe Zerfallsreihe. Mit dieser können Sie die zeitlichen Aktivitätsverläufe für eine der natürlichen Zerfallsreichen näherungsweise ausrechnen und graphisch darstellen. Die Tabellenkalkulationsmappe enthält zwei Tabellenblätter. Im ersten Tabellenblatt Zerfallsreihe führen Sie die Berechnungen aus, im zweiten finden Sie eine Bedienungsanleitung für das erste. Nutzen Sie die Tabellenkalkulationsmappe für die folgenden Aufgaben.

Für das Beispiel der Uran-Radium-Reihe ist der zeitliche Verlauf der Aktivitäten aller Nuklide innerhalb eines bestimmten Verzweigungsverhältnisses dieser Zerfallsreihe in Abbildung 2.1 zu sehen. Dabei haben einzelne Töchter in diesem Beispiel nicht verschwindende Anfangsaktivitäten. Der zeitliche Verlauf der Aktivitäten macht deutlich, dass die deutlich kurzlebigeren Tochternuklide nach einer gewissen Zeit die Aktivität des Mutternuklids annehmen.



Abbildung 2.1: Zeitlicher Verlauf der Aktivitäten aller Mitglieder der Uran-Radium-Zerfallsreihe mit teils nicht verschwindenden Anfangsaktivitäten einzelner Töchter.

Aufgaben

1. Eine bestimmte Menge an ²²²Rn ($T_{1/2} = 3, 8$ d) sei einem ²³⁸U-haltigen Präparat entwichen und vollständig von einem Absorber aufgenommen worden. Dann werden dort die Töchter des Radon, ²¹⁸Po ($T_{1/2} = 3,05$ min) und ²¹⁴Pb ($T_{1/2} = 26, 8$ min), einwachsen:

$$\begin{array}{rcl} ^{222}\mathrm{Rn} & \rightarrow & ^{218}\mathrm{Po} & \rightarrow & ^{214}\mathrm{Pb} \\ (1) & (2) & (3) \end{array}$$

Das Interessante an diesem Fall ist, dass die zweite Tochter eine grössere Halbwertszeit als die erste Tochter hat. Erstellen Sie ein Diagramm zum zeitlichen Verlauf der Aktivitäten der drei Radionuklide.

- Nach welcher Zeit in Einheiten der Halbwertszeit des jeweils betrachteten Tochternuklids sind 98,4 % der Aktivität des Mutternuklids erreicht, wenn säkulares Gleichgewicht angenommen wird. Geben Sie die entsprechenden Zeiten für ²¹⁸Po und ²¹⁴Pb an.
- Benutzen Sie die Tabellenkalkulationsmappe um die Uran-Actinium-Zerfallsreihe zu untersuchen. Wählen Sie dabei den Pfad ohne die Zweige über Fr-223 und Po-211. Erzeugen Sie eine Grahpik analog zu Abbildung 2.1 für den Fall, dass alle Tochternuklide eine verschwindende Anfangsaktivität haben. Die Anfangsaktivität der Mutter U-235 betrage dabei 5 · 10⁹ Bq. Erklären Sie die Strukturen im Diagramm.

3 Signalanalyse am Beispiel des Cadmium-Zink-Tellur-Detektors

Literaturhinweis: Literaturmappe Kapitel 3.1.3

Die analogen elektrischen Signale, die der Vorverstärker des Cadmium-Zink-Tellur-Detektors (siehe Abbildung 3.1) ausgibt, sollen mit einem Oszilloskop überprüft werden, während eine radioaktive Quelle, z.B. Co-60, aufliegt.

Die Steuerungssoftware zu diesem Detektor heißt *WinSPEC for Inspectors* und ist über das entsprechende Desktopsymbol anwählbar, siehe Abbildung 3.2 ganz links. Diese Software erlaubt u.a. auch die Darstellung der Signale über ein digitales Oszilloskop.



Abbildung 3.1: Im Fortgeschrittenenpraktikums-Versuch verwendeter Cadmium-Zink-Tellur-Detektor.



Abbildung 3.2: Start-Icons der im Versuch verwendeten Software. WinSPEC for Inspectors läßt sich über das erste Icon von links starten.

Aufgaben

- 1. Fertigen Sie ein digitales Bild der Signale mit der Oszilloskop-Software an. Welche Form haben die Signale?
- 2. Wodurch entsteht die charakteristische Form dieser Signale?
- 3. Was geschieht mit den Linien des Spektrums, wenn Sie die Verstärkung von kleinsten zum größten Wert ändern?

Die Bedienoberflächen sind in den Abbildungen 3.3 - 3.5 mit den geforderten Einstellungen zu sehen.

Gehen Sie im Speziellen wie folgt vor:

- 1. Starten Sie WinSPEC for Inpectors.
- 2. Wählen Sie im Hauptmenü unter *Setup* den Unterpunkt *Presets* aus. Stellen Sie unter *Choice* den Auswahlpunkt *RealTime* ein. Geben Sie unter *Value* die Zeit von 3600 s ein.
- 3. Wählen Sie im Hauptmenü unter *Setup* den Unterpunkt *MCA* aus. Stellen Sie unter *Channels* den Wert 2048 ein.
- 4. Wählen Sie im Hauptmenü unter *Setup* den Unterpunkt *Amplifier* aus. Kontrollieren Sie, dass unter *Coarse gain* der Wert 10 voreingestellt ist.
- 5. Wählen Sie im Hauptmenü unter Setup den Unterpunkt Amplifier aus. Klicken Sie auf Oscilloscope.
- 6. Starten Sie die Datenaufnahme mit dem Oszilloskop, indem Sie unten rechts den Knopf Start betätigen.

🛄 WinSP	EC (I) [Measurement #135438] - Evaluatior	screen	
File Set	up Analysis Help		
a u t	Read setup file High voltage		
0 1	Inspection information Strg+I Presets		
i n	MCA Amplifier		
	Gating Stabilization		
	Repeat mode		
	USB charging		
	Extension port		2047
I	Setup summary	Counts = 0	
Elag	osed RT[sec] = 16	110 CPS I	bt = 0.1 %
Help F1	AcquPresStartSaveVF2F3F4F5	7FS Exp F6 F7 F8 F9 F	F10 F11 F12
MCA-527	Micro#1377 via USB Stabilization off		

Abbildung 3.3: Setup-Menü von WinSPEC for Inspectors.

F	⇒ Presets	×				
	Choice:	eal Time (sec) 💌				
	Value:	3600				
	ROI number: No	ROI				
	ROI limits:					
	OK Cano	cel Help				
— 🌯 MCA setup	×	Amplifier setup	×			
Channels:	2048	Coarse gain:	10 🔽			
Threshold [0% - 60%]	: 05	Fine gain [0.5 - 6.5]:	1.0000			
Visual threshold adjustment Shaping time [0.1 - 2.0 μs]:						
 LLD [0 - 2046]:	0	Flat top time [0.0 - 15.	0 μs]: 1.2			
ULD [2047 - 1]:	2047	Input polarity:	positive 💌			
Note!	LLD <uld< td=""><td>Oscillos</td><td>scope</td></uld<>	Oscillos	scope			
Visual LLD/ULE) adjustment	Visual amplifier adjustment				
ADC input:	shaping 🔻	PZC adjustment				
	,	Help	Advanced >>			
OK Can	cel Help	ОК	Cancel			

Abbildung 3.4: Preset, MCA-Setup und Amplifier-Setup aus dem Haupt-Setup-Menü von *WinSPEC for Inspectors*. Die blau hinterlegten Felder enthalten die Einstellungen, wie sie für den Versuch erfoderlich sind.



Abbildung 3.5: Digitales Oszilloskop der WinSPEC-Software für die Analyse der Vorverstärkersignale.

4 Detektorkalibrierung

Literaturhinweis: Literaturmappe Kapitel 3.2, 3.2.1, 3.2.2

Mit Hilfe von Kalibrierstrahlern sollen der CdZnTe- und der Germanium-Detektor hinsichtlich der Energie, der Halbwertsbreite und Nachweiswahrscheinlichkeit kalibriert werden. Zunächst wird vorläufig mit Am-241, Cs-137, Co-60 kalibriert, da deren Linien eindeutig zu identifizieren sind. Vervollständigt wird die Kalibrierung mit Eu-152.

Die praktische Umsetzung der Kalibrierung erfolgt in dem Programm *GammaSpekFit*, siehe Abbildung 4.3 und viertes Icon von links in Abbildung 3.2, mit dem Sie sich die gemessenen Spektren anschauen und die darin enthaltenen Linien analysieren können. **Studieren Sie vorher die Kurz-Bedienungsanleitung des Programms, siehe Bedienungsanleitung.**

Aufgaben

- Führen Sie für den Ge-Detektor eine Kalibrierung hinsichtlich der Energie durch. Sie sollten im besten Fall die Linienflächen N mit einer relativen Unsicherheit u(N)/N von besser als 1 % messen. Wieviele Impulse müssen dazu in einer Linie akkumuliert werden?
- Notieren Sie sich die Parameter für die Lineare Regression im Rahmen der Energiekalibrierung. Sie benötigen diese noch für die Auswertung der Hintergrundmessungen.
- Bestimmen Sie die Halbwertsbreiten der ¹³⁷Cs-Linie für beide Detektoren.
- Bestimmen Sie die Nachweiswahrscheinlichkeiten der Detektoren bei der Energie der ¹³⁷Cs-Linie.
- Vergleichen Sie die Halbwertsbreiten und die Nachweiswahrscheinlichkeiten der beiden Detektoren unter Berücksichtigung der Kristallgröße (CdZnTe: 500 mm³, Ge: 200 cm³).
- Wann ist eine hohe Energieauflösung erforderlich?

Gehen Sie im Speziellen wie folgt vor:

- Nachdem Ihr Betreuer den ersten Satz von Quellen vor den Detektoren positioniert hat, starten Sie die Datenaufnahme-Software für jeden Detektor. Die entsprechende Software für den CdZnTe-Detektor ist in der vorigen Aufgabe beschrieben worden. Ein beispielhaftes Spektrum, das mit dem CdZnTe-Detektor gemessen wurde, ist in Abbildung 4.1 zu sehen. Die Datenaufnahme für den Ge-Detektor wird über das Icon *USB-MATE*, das sich auf dem Desktop befindet, gestartet, siehe Abbildung 3.2. Eine Ansicht der Ge-Detektor-Software ist in Abbildung 4.2 zu sehen. Bis auf die Messzeit und den Dateinamen sind alle wesentlichen Einstellungen schon vorgenommen. Stellen Sie 3600 s als Messzeit ein. Starten Sie Ihre Messungen durch Anklicken des Knopfes *Starte Messung*. Sie können die Messung vorzeitig beenden, indem Sie auf *Schnittstelle schließen* klicken. Notieren Sie sich in jedem Fall die tatsächliche Messzeit, die auf der graphischen Oberfläche angezeigt wird. Die Datenaufnahmesoftware beider Detektoren legt die gemessenen Spektren in dem Ordner *FP* ab, der sich auf dem Desktop befindet.
- 2. Nachdem die erste Messung beendet worden ist und Ihr Betreuer zusätzlich zu den bereits vor den Detektoren befindlichen Quellen ein Eu-152-Präparat platziert hat, starten Sie eine zweite Messung mit beiden Detektoren.
- 3. Während die zweite Messung läuft, starten Sie das Programm *DataConvertMycroGammaSpec*, dessen Startknopf ebenfalls auf dem Desktop liegt. Öffnen Sie damit die Datei, die Sie während der ersten Messung mit dem CdZnTe-Detektor erzeugt haben. Sie endet auf *.*spc*. Klicken Sie auf *Daten konvertieren*. Geben Sie an-

schließend einen Dateinamen für die konvertierte Datei ein. Dies ist erforderlich, um das Dateiformat so zu ändern, dass die Daten mit der Analysesoftware lesbar sind. Die Umformatierung erfolgt automatisch.

- 4. Öffnen Sie mit GammpaSpekFit das Spektrum der ersten Messung mit dem CdZnTe-Detektor und bestimmen die Linienfläche und Halbwertsbreite der ¹³⁷Cs-Linie.
- Öffnen Sie mit GammpaSpekFit das Spektrum der ersten Messung mit dem Ge-Detektor und bestimmen die Linienfläche und Halbwertsbreite der ¹³⁷Cs-Linie.
- 6. Führen Sie anschließend eine vorläufige Energiekalibrierung des Ge-Detektors durch. Dazu werten Sie alle Kalibrierlinen des Spektrums der ersten Messung aus.
- Nachdem die zweite Messung beendet worden ist, ergänzen Sie die Kalibrierung des Ge-Detektors um die ¹⁵²Eu-Linien.
- 8. Notieren Sie sich die Daten zu den Kalibrierquellen, die für die Messungen benutzt worden sind. Sie benötigen für jede Quelle die Aktivität zu einem bestimmten Referenzdatum.



Abbildung 4.1: Ansicht der Datenaufnahme-Software WinSPEC for Inspectors für den CdZnTe-Detektor.



Abbildung 4.2: Ansicht der Datenaufnahme-Software USB-MATE für den Ge-Detektor.



Abbildung 4.3: Ansicht des Programms GammaSpekFit.

5 Messung von Umweltproben und Radionuklidbestimmung

Literaturhinweis: Literaturmappe Kapitel 2

Nutzen Sie den kalibrierten Ge-Detektor, um die Radionuklide von natürlichen Proben zu identifizieren. Als Proben stehen ein Mineral aus Traisa bei Darmstadt und Sand vom Strand in Bahia (Brasilien) zur Verfügung.

Aufgaben

- 1. Messen Sie zunächst das Mineral für ca. 20 min.
- 2. Messen Sie den Sand für ca. 20 min.
- 3. Nutzen Sie GammaSpekFit für die Analyse der Spektren.
- 4. Nutzen Sie das Programm *NuklidSuche* für das Nachschlagen der in Frage kommenden Radionuklide, siehe fünftes Icon in Abbildung 3.2 und Abbildung 5.1.
- 5. Welche Radionuklide können Sie identifizieren?

Gehen Sie im Speziellen wie folgt vor:

- 1. Laden Sie sich das zu untersuchende Spektrum in die Anzeige von GammaSpekFit.
- 2. Führen Sie zunächst für die stärksten Linien Kurvenanpassungen durch, mit deren Hilfe Sie die γ -Energien der Linien bestimmen.
- 3. Schlagen Sie die γ -Energien in der *NulidSuche* nach und bestimmen Sie die Radionuklide.
- 4. Für die Festlegung der Radionuklide sind zwei Informationen wichtig:
 - a) Die Proben sind natürlichen Ursprungs.
 - b) γ -Energien mit Emissionswahrscheinlichkeiten kleiner als 1 % können mit dem gegebenen Detektor nicht nachgewiesen werden.

💕 Nuklid-Suche na	ich der Energie					×	
Nuklidbibliothek eir	nstellen Beende de bib	n Info					
C. WARNESSEEN WARN							
Energ 0-400 (z.B. 55-8	Energieintervall 0-4000 ke∨ (z.B. 55-89 + Return)			Nuklid Cs-137 (z.B. K-40 + Return)			
(z.B. 55-89 + Return) (z.B. K-4			he starten				
Nuklid	Energie	Emissions-Wkt.	A E	Energie	Emissions-W		
			-			-	

Abbildung 5.1: Ansicht des Programms NuklidSuche.

6 Hintergrundmessung

Literaturhinweis: Literaturmappe Kapitel 2

Damit ein Probenspektrum um die Beiträge der natürlichen Radionuklide oder anderer Kontaminanten aus der Umgebung korrigiert werden kann, muss ein Hintergrundspektrum aufgenommen werden. Da Hintergrundmessungen über einen längeren Zeitraum durchgeführt werden sollten, wird Ihr Betreuer diese über Nacht laufen lassen und Ihnen das Spektrum zukommen lassen.

Aufgaben

- 1. Welche Radionuklide können Sie identifizieren?
- 2. Weshalb können Sie diese messen, obwohl keine Probe im eigentlichen Sinn auf dem Detektor liegt?
- 3. Nehmen Sie an, Sie würden für das gemessene Mineral die Aktivitäten der enthaltenen Radionuklide bestimmen müssen. In welcher Weise benötigen Sie hierfür die Hintergrundmessung? Stellen Sie eine Ratengleichung auf.

7 Teemessung

Literaturhinweis: Literaturmappe Kapitel 3.3 und 4

Am Beispiel eines Tees aus der Türkei soll das Zusammenspiel zwischen Messung und Risikobewertung im Sinne des Strahlenschutes demonstiert werden. Der Tee stammt aus dem Jahr 1986 und ist durch den Reaktorunfall von Tschernobyl kontaminiert. Daraus ergibt sich die Frage, inwieweit der Mensch gefährdet wäre, wenn er diesen Tee konsumieren würde. Das Risiko an Krebs zu erkranken, weil der Körper ionisierender Strahlung ausgesetzt ist, läßt sich einschätzen, wenn die Effektive Dosis bekannt ist. Diese kann über Dosiskoeffizienten berechnet werden, wenn die inkorporierte Aktivität gegeben ist.

Der Tee befindet sich in einem becherglasförmigen Gefäß und stellt damit einen volumenhafte Probe dar. Die räumliche Verteilung des Tees sowie seine Selbstabsorption können durch die sogenannte Folienmethode bei der Kalibrierung berücksichtigt werden, ohne einen Volumenkalibrierstandard herstellen zu müssen.

Aufgaben

- 1. Führen Sie eine Messung an der Teeprobe mit dem Ge-Detektor über ca. 30 min aus.
- 2. Mit welchem Radionuklid ist der Tee kontaminiert?
- 3. Bestimmen Sie Erkennungs- und Nachweisgrenze für die Nettoimpulszahl (werden von GammaSpekFit automatisch ausgegeben). Ist diese signifikant von Null verschieden?
- 4. Wie groß sind die Aktivität und die spezifische Aktivität des Tees? Die Masse des Tees im Becherglas beträgt $m_{\text{Tee}} = (90, 0 \pm 0, 3) \text{ g.}$
- 5. Angenommen es würden 2 g Tee aufgebrüht und das gesamte Radionuklid ginge in Lösung, wie groß ist dann die Aktivität, die beim Genuß einer solchen Tasse Tee inkorporiert wird?
- 6. Wie groß ist die 50-Jahre-Folgedosis? Den Dosiskoeffizienten für das identifizierte Radionuklid finden Sie in den Dosiskoeffiziententabellen über unten stehenden Link.
- 7. Wieviel ist das im Verhältnis zur jährlichen zusätzlichen Dosis von 1 mSv, die ein Bundesbürger pro Jahr erhalten darf, summiert über 50 Jahre?
- 8. Was wäre im Sinne des Strahlenschutzes zu empfehlen?
- 9. Darf der Tee den Strahlenschutzbereich des IKP verlassen, darf er also freigegeben werden? Die Freigabewerte finden Sie in der Strahlenschutzverordnung Anhang 4 unter untenstehendem Link.

Dosiskoeffizienten zur Berechnung der Strahlenexposition, Teil II: https://www.base.bund.de/DE/base/ges etze-regelungen/dosiskoeffizienten/dosiskoeffizienten.html

Freigabewerte der StrlSchVO, Anhang 4: http://www.gesetze-im-internet.de/strlschv_2018/

8 Kalibrierung eines Dosisleistungsmessgeräts

Literaturhinweis: Literaturmappe Kapitel 4

Pflicht für den Studiengang Physik, optional für den Studiengang Physik-Lehramt

Ein Halbleiterzähler soll mit verschiedenen Punktquellen (Am-241, Cs-137 und Co-60) hinsichtlich der Dosisleistung kalibriert werden. Dazu wird der Detektor in einem Abstand von $R = (12, 7\pm 0, 1)$ cm, $R = (17, 7\pm 0, 1)$ cm und $R = (22, 7\pm 0, 1)$ cm vor den drei Quellen platziert und die Bruttozählrate über jeweils $t_{\text{mess}} = 5$ min ermittelt. Zusätzlich muss der natürliche Strahlungshintergrund berücksichtigt werden. Mehrere Langzeitmessungen, die in der Vergangenheit durchgeführt wurden, ergaben eine Hintergrundzählrate von $r_0 = (0,006 \pm 0,003)$ s⁻¹.

Ihr Betreuer wird die Quellen als auch den Detektor geeignet in den Messaufbau einsetzen, siehe Abbildung 8.1.

Aufgaben

- 1. Führen Sie für einen jeweils eingestellten Abstand zwischen Detektor und eingebauten Kalibrierquellen eine Messung der Zählrate über $t_{mess} = 5$ min durch und notieren Sie sich die Ereigniszahl sowie Zählrate.
- 2. Starten Sie die Messung über die entsprechende graphische Oberfläche, die mit dem sechsten Icon von links in Abbildung 3.2 gestartet wird. Die Oberfläche ist in Abbildung 8.2 zu sehen.
- 3. Berechnen Sie die Ortsdosisleistung für die entsprechenden Abstände und mit der Aktivität A der Quellen.
- 4. Tragen Sie für jeden Abstand die Summe der Dosisleistungen der einzelnen Radionuklide gegenüber der gemessenen Rate in einem Diagramm auf.
- 5. Passen Sie eine Ausgleichsgerade an die Daten an. Diese verwenden Sie anschließend dazu, um die Dosisleistung eines Bauteils vom S-DALINAC zu bestimmen.
- 6. Bestimmen Sie für alle Messgrößen stets die Unsicherheiten!



Abbildung 8.1: Ansicht des Messaufbaus zur Dosisleistungskalibrierung.

instellung der Messzeit (s)							
10	 ▼ 1832635, 	0,	0,	0,	2,	4	
	1832636,	0,	0,	0,	2,	4	
Starte Messung	1832637,	0,	0,	0,	2,	4	
		0,	0,	0,	2,	4	
Messergebnisse	1832639,	0,	0,	0,	2,	4	
2	1832640,	0,	0,	0,	2,	4	
ímpulse = 0	1832641,	0,	0,	0,	2,	4	
	1832642,	0,	0,	0,	2,	4	
Wahre Messzeit = 9 s	1832643,	0,	0,	0,	2,	4	
Rate = 0 1/s	1832644,	0,	0,	0,	2,	4	
	1832645,	0,	0,	0,	2,	4	
	1832646,	0,	0,	0,	2,	4	
Timeout	1832647,	0,	0,	0,	2,	4	
nstellung der Schnittstelle	1832648,	0,	0,	0,	2,	4	
istending der schnittstelle	1832649,	0,	0,	0,	2,	4	
:OM5	1832650,	0,	0,	0,	2,	4	
	1832651,	0,	0,	0,	2,	4	
Beenden	1832652,	0,	0,	0,	2,	4	
	1832653,	0,	0,	0,	2,	4	

Abbildung 8.2: Ansicht der graphischen Oberfläche zum Start der Datenaufnahme des RD2014-Dosisleistungsdetektors.

9 Dosisleistungsmessung an einem aktivierten Bauteil des S-DALINAC

Pflicht für den Studiengang Physik, optional für den Studiengang Physik-Lehramt

Mit Ihrem kalibrierten Dosisleistungsmessgerät vermessen Sie die Dosisleistung eines Bauteils vom S-DALINAC oder alternativ eine mit Uranfarbe bemalte Kachel unter Vernachlässigung des Hintergrundeffekts.

Das gleiche Objekt vermessen Sie zu Vergleichszwecken mit einem eichfähigen Dosisleistungsmessgerät aus dem praktischen Strahlenschutz sowie mit zwei verschiedenen Handysensoren (CMOS-Kamerasensor und SmartGeiger Pro), siehe Abbildung 9.1.

Das eichfähige Dosisleistungsmessgerät nutzt ein Geiger-Müller-Zählrohr als Messonde. Die Handy-Sensoren sind Halbleiterdetektoren, ähnlich wie der RD2014.

Aufgaben

- 1. Führen Sie mit allen Detektoren Messungen über 3 min am selben Objekt durch.
- 2. Vergleichen Sie die Messergebnisse im Rahmen einer Verträglichkeitsprüfung. Zwei Messwerte x_1, x_2 dürfen als verträglich angesehen werden, wenn gilt:

$$\frac{|x_2 - x_1|}{\sqrt{u^2(x_1) + u^2(x_2)}} \le \beta \quad \text{mit} \quad \beta = 1..\sqrt{2}..3.$$
(9.1)

Setzen Sie $\beta = \sqrt{2}$.

- 3. Welche Schlüsse ziehen Sie aus diesem Vergleich im Hinblick auf die Brauchbarkeit der Detektoren?
- 4. Wie müsste das Messverfahren geändert werden, um die Unsicherheiten zu minimieren?



Abbildung 9.1: Links: Eichfähiges Dosisleistungsmessgerät aus dem praktischen Strahlenschutz. Rechts: PIN-Dioden-Sensor SmartGeiger Pro zum Aufstecken auf den Kopfhörer-Eingang eines Smartphones.

10 Radioaktivität im Schulversuch

Pflicht für den Studiengang Physik-Lehramt, optional für den Studiengang Physik

Im Folgenden soll demonstriert werden, wie sich in einem Schulversuch eine Strahlungsquelle erzeugen läßt. Diese soll eine ausreichende Aktivität aufweisen, um mit einem Endfenster-Geiger-Müller-Zählrohr bzw. Kontanimationsmonitor vermessen werden zu können.

Dabei geht es darum, eine Polystyrol-Platte (eine sogenannte *Philion-Platte*) durch Reiben mit einem Wolltuch elektrostatisch aufzuladen und bestimmte Radionuklide aus der Umgebung darauf anzusammeln. Deren Messung und Identifikation werden Aufgabe dieses Versuchsteils sein.

Für die Messungen wird ein sogenannter Kontaminationsmonitor verwendet, der α -, β - und auch γ -Strahlung nachweisen kann.

Der Kontaminationsmonitor gehört zu den Gasdurchflusszählern. Dabei handelt es sich um einen großflächigen gasgefüllten Detektor mit sehr hoher Nachweiswahrscheinlichkeit.

Aufgaben

- 1. Wischen Sie die weiße Polystyrol-Platte mit einem feuchten Lappen sauber. Trocknen Sie sie anschließend durch Abtupfen mit einem trockenen Lappen. Legen Sie die Platte auf die isolierenden PVC-Platten.
- 2. Führen Sie eine Messung der Platte mit dem Kontaminationsmonitor im β -/ γ -Modus aus.
- 3. Führen Sie eine Messung der Platte mit dem Kontaminationsmonitor im α -Modus aus.
- 4. Reiben Sie die Polystyrol-Platte kräftig mit dem dazugehörigen Wolltuch.
- 5. Legen Sie die Polystyrol-Platte auf die isolierenden PVC-Platten.
- 6. Lassen Sie die Platte auf den isolierenden PVC-Platten für ca. 20 min liegen.
- 7. Wiederholen Sie die Messungen, die Sie anfangs durchgeführt haben.
- 8. Welche Radionuklide haben sich auf der Platte angereichert?
- 9. Geben Sie die Quellenstärke in Vielfachen der Hintergrundmessung der Platte an.
- 10. Was müssten Sie tun, um die Flächenaktivität der Platte zu bestimmen?

Literaturverzeichnis

[Phil06] BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT, GESUNDHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (STMUGV): Radioaktivität und Strahlungsmessung. 8. Auflage, 2006.