Radioaktivität (RAD)

Themengebiet: Atom- und Kernphysik

1 Einleitung

Die Eigenschaft mancher Atomkerne, sich ohne äußeren Einfluss spontan in andere Kerne umzuwandeln, und dabei energiereiche, ionisierende Strahlung auszusenden, wird als Radioaktivität bezeichnet. Dies kommt ganz natürlich ind er Umwelt vor, es gibt aber auch menschgemachte Quellen radioaktiver Strahlung.

In diesem Versuch werden einige Grundbegriffe der Radioaktivität behandelt. Insbesondere geht es um den Nachweis von Gammastrahlung. In einem ersten Schritt wird der Detektor kalibriert, damit später γ-Energien im Spektrum identifiziert werden können. Damit werden dann einige typische Quellen, sowie die Höhenstrahlung untersucht.

2 Grundlagen

2.1 Radioaktivität

Radioaktiv nennt man Atomkerne, welche sich ohne äußeren Einfluss spontan in andere Kerne und Teilchen umwandeln (bzw. zerfallen). Dabei unterscheidet man zwischen verschiedenen Zerfallsarten:

α-Zerfall:
Beim α-Zerfall emittiert der Atomkern einen Heliumkern ${}^4_2\mathrm{He}$, auch α-Teilchen genannt. Alle α-Teilchen eines Nuklids (eines bestimmten Isotops) haben diskrete Energien, d.h. bestimmte Geschwindigkeiten (Energieerhaltung!).

Ein Beispiel für einen α-Zerfall ist der Zerfall des ${}^{238}_{92}\mathrm{U}$

$$ {}^{238}_{92}\mathrm{U} \longrightarrow {}^{234}_{90}\mathrm{Th}^{*+} \, {}^4_2\mathrm{He} $$

β^--Zerfall: Abbau von Neutronenüberschuss in Kernen
Bei der Umwandlung eines Neutrons im Kern in ein Proton entsteht ein Elektron (β^--Teilchen). Das Energiespektrum der β^--Teilchen ist kontinuierlich. Dies scheint das Prinzip diskreter Quantenzustände im Kern zu verletzen. Daraus wurde die Existenz eines zusätzlichen Teilchens (des Antineutrinos) vorhergesagt, welches dann auch im Experiment nachgewiesen wurde.

Ein Beispiel für einen β^--Zerfall ist der Zerfall des ${}^{60}_{27}\mathrm{Co}$:

$$ {}^{60}_{27}\mathrm{Co} \longrightarrow {}^{60}_{28}\mathrm{Ni}^{**} + \mathrm{e}^- + \bar{\nu} $$

β^+-Zerfall: Abbau von Protonenüberschuss in Kernen
Bei der Umwandlung eines Protons in ein Neutron emittiert der Atomkern ein Positron (e^+ , β^+). Dieses wird abgebremst und reagiert dann sofort mit einem Elektron aus seiner Umgebung, wobei zwei γ-Quanten mit der Ruheenergie eines Elektrons ($E_\gamma = 511$ keV) in einem Winkel von 180° ausgesendet werden.

© TU-München, Physikalisches Praktikum

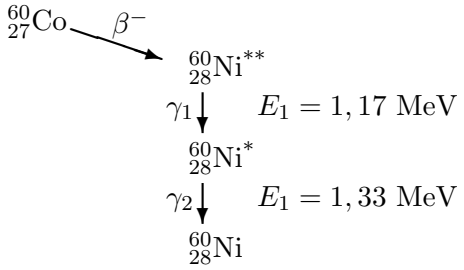

Abbildung 1: Zerfallsschema von ^{60}Co: Nach dem β^--Zerfall ist das Tochternuklid in einem zweifach angeregtem Zustand. Es geht unter der Aussendung zweier γ-Quanten in den Grundzustand über.

Ein Beispiel für einen β^+-Zerfall ist der Zerfall des $^{22}_{11}$Na :

$$^{22}_{11}\mathrm{Na} \longrightarrow {}^{22}_{10}\mathrm{Ne}^* + \mathrm{e}^+ + \nu$$

Elektroneneinfang

Ein Proton im Kern „fängt“ sich ein Elektron aus der Atomhülle Umgebung und wandelt sich in ein Neutron um. Die Elektronen senden beim Nachrücken in niedrigere Schalen die charakteristische Röntgenstrahlung des Atoms aus, dessen Kernladungszahl um eins kleiner ist. Es gibt K-Einfang, L-Einfang und gegebenenfalls Einfang aus höheren Schalen.

γ-Zerfall:

Oft ist der bei α- oder β-Zerfall entstandene Kern noch in einem angeregten Energiezustand. Beim Übergang zum Grundzustand wird elektromagnetische Strahlung emittiert, die γ-Strahlung. Diese kann mit dem in diesem Praktikumsversuch verwendeten NaI-Szintillator nachgewiesen werden.

Schematisch ist dies in Abbildung 1 für den β^--Zerfall des ^{60}Co in ^{60}Ni dargestellt. Der angeregte ^{60}Ni**-Kern geht in zwei Stufen (Kaskade) in den Grundzustand über, wobei zwei γ-Quanten ausgesandt werden.

2.2 Halbwertszeit und Aktivität

Alle Aussagen, die über den Zerfall der Kerne gemacht werden können, sind rein statistischer Art. Wann ein bestimmtes Teilchen zerfallen wird, ist zufällig. Die Anzahl der in der Zeit dt zerfallenden Kerne dN ist proportional zur Anzahl der vorhandenen instabilen Kerne N, woraus sich die Differentialgleichung

$$dN(t) = -\lambda \cdot N(t) \cdot dt \tag{1}$$

ergibt. Die Zerfallskonstante λ ist unabhängig von der Zeit t. Die Gleichung (1) lässt sich daher einfach integrieren, und man erhält das Zerfallsgesetz

$$N(t) = N_0 \cdot \mathrm{e}^{-\lambda \cdot t}. \tag{2}$$

Als Halbwertszeit

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \tag{3}$$

bezeichnet man die Zeit, in der die Hälfte der instabilen Kerne zerfallen ist.

© TU-München, Physikalisches Praktikum

Die Zahl der Zerfälle pro Zeiteinheit nennt man Aktivität A. Sie wird in Becquerel (1 Bq = ein Zerfall pro Sekunde) angegeben. Aus dem Zerfallsgesetz in Gleichung (2) erhält man die Zeitabhängigkeit der Aktivität zu

$$A(t) = -\frac{dN}{dt} = \lambda \cdot N_0 \cdot \mathrm{e}^{-\lambda \cdot t} = \lambda \cdot N(t) \qquad \text{und} \quad A(t) = A_0 \cdot \mathrm{e}^{-\lambda \cdot t}. \tag{4}$$

Die Aktivität A einer Probe lässt sich also aus der Zerfallskonstante λ und der Anzahl der radioaktiven Kerne N berechnen.

2.3 Wechselwirkung mit Materie

Die radioaktive Strahlung interagiert mit den Elektronen der Materie. Werden dabei Elektronen aus inneren Schalen herausgeschlagen, kann auch die charakteristischer Röntgenstrahlung des Atoms entstehen.

2.3.1 Geladene Teilchen (α, β)

Beim Durchgang geladener Teilchen (mit Energien von einigen keV bis zu vielen MeV) durch Materie wird über die Coulomb-Wechselwirkung Energie auf die Elektronen in der Materie übertragen. Dabei wird längs der Bahn des Teilchens eine Spur aus Elektron/Ion-Paaren erzeugt.

2.3.2 Gammastrahlung

Bei der Wechselwirkung von Gammastrahlung mit Materie gibt es drei Effekte zu berücksichtigen:

Photoeffekt: Die gesamte Energie eines γ-Quants wird auf ein Elektron in der Atom-Hülle übertragen, welches dadurch aus der Bindung gelöst wird („freies Elektron“).

Comptoneffekt: Der Comptoneffekt lässt sich als elastische Streuung des γ-Quants am Elektron behandeln. Es wird nur ein Teil der Energie des γ-Quants auf das Elektron übertragen, diese reicht aber auch aus, das Elektron aus der Bindung zu lösen. Das γ-Quant ändert dabei seine Frequenz ($E = \mathrm{h} \cdot \nu \Rightarrow E' = \mathrm{h} \cdot \nu'$) und seine Richtung.

Paarbildung: Ist die Energie des γ-Quants größer als die Ruheenergie eines Positrons und eines Elektrons ($E_\gamma > 2 \cdot \mathrm{m_e} \cdot \mathrm{c}^2 = 1022$ keV) kann dieses Paar (Ladungserhaltung!) erzeugt werden. Die Impulserhaltung erfordert die Nähe eines Atomkerns, der den überschüssigen Rückstoßimpuls aufnimmt. Die überschüssige Energie des ursprünglichen γ-Quants wird in kinetische Energie des Elektron-Positron-Paares umgesetzt.

Die durch diese Effekte ausgelösten Elektronen, die Energien bis zu mehreren MeV haben, ionisieren ihrerseits als geladene Teilchen (siehe 2.3.1) die Materie.

2.3.3 Schwächung der Gammastrahlung

Durch die beschriebenen Wechselwirkungen nimmt die Intensität der γ-Strahlung mit zunehmender Eindringtiefe d in die Materie exponentiell ab:

$$I(d) = I_0 \cdot \mathrm{e}^{-\mu d} \qquad \mu: \text{ Absorptionskoeffizient} \tag{5}$$

© TU-München, Physikalisches Praktikum

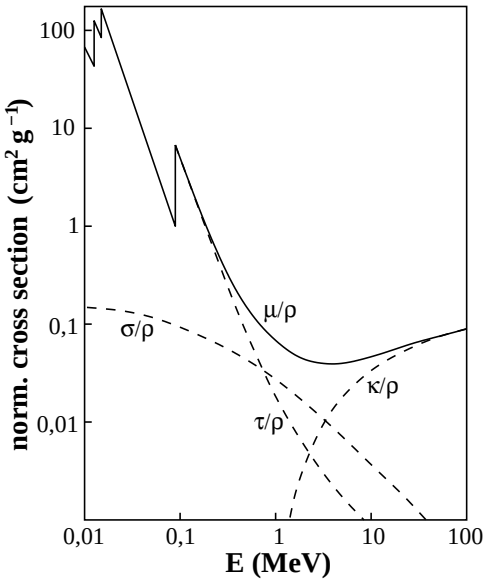

Abbildung 2: Wirkungsquerschnitte für Photo- (τ), Compton- (σ) und Paarbildungseffekt (κ), sowie der Gesamtschwächungskoeffizient ($\mu = \tau + \sigma + \kappa$) normiert auf die Dichte (ρ) in Blei.

Statt der tatsächlichen Absorberdicke d benutzt man in der Praxis meistens die „Flächendichte“ oder „Massenbelegung“ $d^* = d \cdot \rho$ (Einheit: g/m^2, ρ: Dichte des Materials). Der zugehörige Absorptionskoeffizient $\mu^* = \mu/\rho$ wird in m^2/g angegeben und als „Massenabsorptionskoeffizient“ bezeichnet.

In Abbildung 2 sind die μ^* der einzelnen Effekte für die Wechselwirkung mit Blei dargestellt.

2.4 Kernspektren

Misst man die Energie der radioaktiven Strahlung, so erhält man Informationen über die Natur des Zerfalls und des zerfallenden Stoffes. Wegen der diskreten Energieniveaus im Kern wird man γ-Quanten ganz bestimmter, für den zerfallenen Kern charakteristischer Energien finden. Tabelle 1 gibt die charakteristischen γ-Energien einiger für den Versuch wichtiger Strahler an.

2.4.1 Zerfallsreihen

Beim Zerfall vieler radioaktiver Urnuklide entstehen Nuklide, die selbst wieder radioaktiv sind. Der Zerfall geht dann weiter und führt zu einer Zerfallsreihe, die dann bei einem stabilen Nuklid endet. Da sich die Massenzahl A nur beim α-Zerfall (um 4) ändert, ergeben sich vier verschiedene Zerfallsreihen mit $A = (4 \cdot n) + 0, 1, 2, 3$ (n ganzzahlig). Die Mutterkerne dieser Zerfallsreihen sind ^{232}Th (4n, Thoriumreihe), ^{237}Np (4n+1, Neptuniumreihe), ^{238}U (4n+2, Uraniumreihe) und ^{235}U (4n+3, Aktiniumreihe). Das Spektrum eines Nuklids enthält dann auch immer die charakteristischen γ-Energien der Tochterkerne.

© TU-München, Physikalisches Praktikum

Tabelle 1: γ-Energien einiger Quellen: Angegeben sind einige Einzelisotope und Auszüge aus der Uran und Thorium-Zerfallsreihe. Die Prozentzahlen neben den Energien geben die Wahrscheinlichkeit an, mit der diese Energie bei einem Zerfall auftritt. Außerdem ist noch die Halbwertszeit der Isotope und die Zerfallsart angegeben.

Isotop	$\mathbf{T_{1/2}}$	**Zerfall**	$\boldsymbol{\gamma_1}$ **(keV)**	$\boldsymbol{\gamma_2}$ **(keV)**	$\boldsymbol{\gamma_3}$ **(keV)**
^{22}Na	2,6 a	β^+	1275		
^{60}Co	5,3 a	β^-	1173	1333	
^{137}Cs	30,2 a	β^-	662(85%)		
^{241}Am	433 a	α	59,5(35%)		
^{90}Sr	28,8 a	β^-			
^{40}K	$1,3 \cdot 10^9$ a	β^+	1461(11%)		
Uraniumreihe (Auszug):					
^{238}U	$4,5 \cdot 10^9$ a	α	50(21%)		
^{234}Th	24,1 d	β^-	63(5%)	93(3%)	93(3%)
^{234}Pa	1,2 min	β^-	1001(0,8%)	767(0,3%)	
^{226}Ra	1600 a	α	186(6%)		
^{214}Pb	26,8 min	β^-	352(36%)	295(19%)	
^{214}Bi	19,8 min	α,(β^-)	609(45%)	1765(15%)	1120(15%)
Thoriumreihe (Auszug):					
^{232}Th	$1,4 \cdot 10^{10}$ a	α			
^{228}Ac	6,13 h	β^-	911(27%)	969(16%)	339(11%)
^{224}Ra	3,46 d	α	241(4%)		
^{212}Pb	10,6 h	β^-	239(43%)		
^{212}Bi	60,6 min	α,β^-	727(7%)		
^{208}Tl	3,1 min	β^-	2615(36%)	583(31%)	511(8%) 860(5%)

© TU-München, Physikalisches Praktikum

Tabelle 2: Wichtungsfaktoren für verschiedene Strahlenarten zur Berechnung der Organdosis (nach StrlSchV Anlage 18)

Strahlenart	**Wichtungsfaktor w_R**
Photonen	1
Elektronen, Myonen	1
Protonen und geladene Pionen	2
α-Teilchen, Spaltfragmente, Schwerionen	20
Neutronen	
< 1 MeV	$2,5 + 18,2 \cdot \mathrm{e}^{-(\ln(E_\mathrm{n}))^2/6}$
1 MeV bis 50 MeV	$2,5 + 17,0 \cdot \mathrm{e}^{-(\ln(2 \cdot E_\mathrm{n}))^2/6}$
> 50 MeV	$2,5 + 3,25 \cdot \mathrm{e}^{-(\ln(0,04 \cdot E_\mathrm{n}))^2/6}$
	E_n: Zahlenwert der Neutronenenergie in MeV

3 Strahlenschutz

Da ionisierende Strahlung (α-, β-, und γ-Strahlung) biologisches Gewebe schädigen kann, ist eine übermäßige Exposition zu vermeiden. In diesem Abschnitt sollen einige Begriffe und Regelungen des Strahlenschutzes beschrieben werden.

3.1 Definitionen

Aktivität: Die Anzahl der Kernzerfälle pro Zeiteinheit heißt Aktivität. Die Einheit ist Bequerel.

Energiedosis: Die von einem Körper absorbierte Strahlungsenergie pro Masse

$$D = \frac{\text{absorbierte Energie}}{\text{Masse}}$$

heißt Energiedosis. Die Einheit ist Gray (1 Gy = 1 J/kg).

Ionendosis: Die von der Strahlung in einer definierten Luftmenge erzeugten Ionen. Die Einheit ist C/kg. Durch Multiplikation der Ionendosis mit dem Dosisumrechnungsfaktor f (Einheit: J/C), erhält man die eigentlich interessierende Energiedosis.(Für Luft: $f = 33,7$ J/C; für Muskel: $f = 37,2$ J/C)

Organdosis: Die Energiedosis, die von einem Körperteil T aufgenommen wird, gewichtet mit einem Faktor w_R für die jeweilige Strahlungsart (siehe Tabelle 2) heißt Organdosis

$$H_T = \sum_R w_R \cdot D_{T,R}.$$

Die Einheit ist Sievert (1 Sv = 1 J/kg).

effektive Dosis: Die Summe der Organdosen, gewichtet mit den organabhängigen Wichtungsfaktoren w_T heißt effektive Dosis

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T = \sum_T w_T \sum_R w_R \cdot D_{T,R}$$

Die Einheit ist Sievert (Sv).

© TU-München, Physikalisches Praktikum

Äquivalentdosis: Die Organdosis (bzw. effektive Dosis) in einem standardisiertem Gewebe (ICRU-Weichteilgewebe) heißt Äquivalenzdosis. Diese Größe ist im Gegensatz zur Organdosis messtechnisch gut zugänglich. Die Einheit ist Sievert (Sv).

Körperdosis: Der Sammelbegriff für Organdosis und effektive Dosis ist Körperdosis.

Personendosis: Die Äquivalenzdosis, gemessen mit einem amtlichen Personendosimeter an einer repräsentativen Stelle der Körperoberfläche, ist die Personendosis.

Ortsdosis: Äquivalenzdosis an einem bestimmten Ort heißt Ortsdosis.

Ortsdosisleisung: In einem bestimmten Zeitintervall erzeugte Ortsdosis ist die Ortsdosisleistung.

3.2 Natürliche Strahlenbelastung

Sie setzt sich im Wesentlichen aus zwei Teilen zusammen:

Kosmische Strahlung: Wäre die kosmische Strahlung nicht noch viel durchdringender als Kern-γ-Strahlung, so fände man sie am Erdboden gar nicht. Die aus dem Weltall kommende Strahlung (hauptsächlich Protonen (85%) und α-Teilchen (14%)) wird in der Atmosphäre in andere Teilchen (z.B. Myonen) umgewandelt. Im Mittel haben diese Teilchen eine Energie zwischen 1 und 10 GeV. Die höchste Energie, die für ein Teilchen gefunden wurde, beträgt $4 \cdot 10^{12}$ GeV. Diese hochenergetischen Teilchen deponieren in unseren Muskeln in jedem cm^3 ca. 2 MeV Energie (d.h. jedes dieser Teilchen, dass durch unseren Körper fliegt, wird dort abgebremst und verlieren dabei diese Energie).

Die Intensität der Höhenstrahlung ist stark ortsabhängig. Beträgt ihre Dosisleistung auf Meereshöhe etwa $0,3$ mSv/a, sind es auf 2000 m Höhe schon etwa 1 mSv/a und in 12 km Höhe etwa 45 mSv/a (entspricht etwa 5 μSv/h)

Terrestrische Strahlung: Sie entsteht durch in der Natur existierende, radioaktive Nuklide mit langer Halbwertszeit, sowie deren radioaktive Zerfallsprodukte. Diese aus der Entstehungszeit der Erde stammenden Nuklide kommen im Erdboden, im Wasser und in der Luft vor, wobei ihre Konzentration regional stark schwankt. Die wichtigsten Nuklide sind hier: ^{232}Th ($T_{1/2} = 14 \cdot 10^9$ a), ^{238}U ($4,4 \cdot 10^9$ a), ^{235}U ($700 \cdot 10^6$ a) und ^{40}K ($1,3 \cdot 10^9$ a).

Ein weiterer Teil der terrestrischen Strahlenbelastung spielt die Inkorporation durch Nahrungsaufnahme und Atmung eine große Rolle. Über die Nahrung wird dabei hauptsächlich ^{40}K aufgenommen, aber auch ^{238}U, ^{232}Th und deren Tochternuklide ^{210}Pb und ^{210}Po, die sich z.B. in Meeresfrüchten anreichern.

In den natürlichen Zerfallsreihen von ^{238}U und ^{232}Th kommen die radioaktiven Isotope des Edelgases Radon (^{222}Rn bzw. ^{220}Rn) vor. Diese diffundieren aus dem Gestein in die Luft und werden mit der Atmung aufgenommen.

Die gesamte natürliche Strahlenbelastung is in Deutschland im Mittel 2,4 mSv/a, unterliegt jedoch sehr starken regionalen Schwankungen.

© TU-München, Physikalisches Praktikum

Tabelle 3: Strahlenbelastung bei Röntgenaufnahmen: Effektive Dosis für verschiedene Szenarien.

Untersuchungsart	**Effektive Dosis (mSv)**
Zahnaufnahme	$< 0,01$
Extremitäten	0,01 - 0,1
Schädel	0,03 - 0,1
Thorax, eine Aufnahme	0,02 - 0,05
Mammographie, beidseits, in zwei Ebenen	0,2 - 0,6
Lendenwirbelsäule, in zwei Ebenen	0,8 - 1,8
Magen und Darm	6 -18
Computertomographie, Kopf	2 - 4
Computertomographie, Brustraum	6 - 10

Tabelle 4: Beispiele für Industrieprodukte, die radioaktive Präparate enthalten

Produkt	**verwendete Isotope**
Rauch- und Feuermelder	^{226}Ra, ^{241}Am, ^{85}Kr
Prüfstrahler	^{192}Ir, ^{60}Co, ^{137}Cs
Dicken- und Dichtemesser	^{22}Na, ^{14}C, ^{90}Sr, ^{226}Ra, ^{147}Pm, ^{204}Tl, ^{241}Am
Skalen und Zeiger	^{3}H, ^{147}Pm
Leuchtziffern von Uhren	^{226}Ra
Optische Gläser, Linsen	natürliches Th
Stahl/Th-Schweißelektroden	natürliches Th
Porzellan, Emaille, Zahnmassen	natürliches Th, U

3.3 Zivilisatorische Strahlung

Den Hauptteil der zivilisatorischen Strahlenbelastung bilden die medizinische Diagnostik und Behandlung. Sie führen in Deutschland zu einer durchschnittlichen effektiven Dosis von 0,4 - 1,0 mSv/a. Den Hauptanteil bilden dabei Röntgenuntersuchungen. Einige Beispiele sind in der Tabelle 3 aufgeführt.

Als weitere Strahlungsquellen gibt es Industrieerzeugnisse, in denen radioaktive Strahler verwendet werden. Einige Beispiele sind in Tabelle 4 aufgeführt.

Die Strahlenbelastung, die von kerntechnischen Anlagen, Forschungslaboren, etc. ausgeht, ist (unter normalen Bedingungen) für die Bevölkerung vernachlässigbar. Dies trifft allerdings nicht auf die Personen zu, die in diesen Einrichtungen arbeiten. Hierfür gibt es gesetzliche Regelungen, die im Abschnitt 3.5 behandelt werden.

3.4 Strahlenschäden beim Menschen

Die gesundheitlichen Schäden durch ionisierende Strahlung kann man beim Menschen in vier Gruppen einteilen (Die jeweils angegebene Dosis gilt für Ganzkörperbestrahlung):

1. Akute Schäden aufgrund von Vergiftung durch gebildete Radikale (wodurch?) und tote Zellen. Bei einer Dosisaufnahme von 0,5-1,0 Sv treten Übelkeit und Haarausfall ein. Bei 5 Sv beträgt die Sterblichkeitsrate 50% . Dies gilt für kurzzeitige Strahlenexpositionen.

© TU-München, Physikalisches Praktikum

Tabelle 5: Einige Grenzwerte der Strahlenexposition für verschiedene Zielgruppen (mSv/a) nach Strhlenschutzgesetz § 78 und § 80.

	berufl. Exponierte	Bevölkerung
effektive Dosis	20	1
Organ-Äquivalentdosis: Augenlinse	20	15
Organ-Äquivalentdosis: Haut, gemittelt über jede beliebige Hautfläche von 1 cm^2 unabhängig von der exponierten Fläche (lokale Hautdosis)	500	50
Organ-Äquivalentdosis: Hände, Unterarme, Füße und Knöchel	je 500	—

2. Zunahme des Krebsrisikos nach einer Latenzzeit von 5-40 Jahren: etwa 0,02 zusätzliche Krebstote pro 1 Sv. Das normale Krebsrisiko ist 0,20-0,25.

3. Missbildungen bei Kindern im Mutterleib in den ersten Wochen der Schwangerschaft. Unter 0,1 Sv wurde noch keine Zunahme beobachtet.

4. Vererbliche Schäden wurden bei Tieren aber nicht bei Menschen gefunden.

3.5 Rechtliche Bestimmungen (Strahlenschutzverordnung)

Für die Strahlenbelastung (außer natürliche und medizinische Strahlung) werden vom Gesetzgeber Grenzwerte festgelegt. Man unterscheidet dabei beruflich strahlenexponierte Personen und Privatpersonen. Es gibt sowohl Grenzwerte für die effektive Dosis als auch für einzelne Organdosen. Tabelle 5 gibt einige dieser Grenzwerte an. Abweichende Grenzwerte für beruflich exponierte Personen gelten für Personen unter 18 Jahren, gebährfähige Frauen und Schwangere (Schutz des ungeborenenLebens) Es findet der Grenzwert (effektive Dosis/Organdosis) Anwendung, der zuerst erreicht wird.

4 Verwendete Instrumente

4.1 NaI-Szintillationszähler

Die Szintillationsmethode ist die älteste Methode zur Beobachtung einzelner atomarer Teilchen. In einem Szintillationszähler wird die Energie der einfallenden Teilchen auf die Kristallatome übertragen und von diesen in Form von Lichtblitzen ausgestrahlt. Früher zählte man diese Lichtblitze mit einem lichtstarken Mikroskop. Dadurch erhielt man aber noch keine Information über die Energie der Teilchen. Heute weist man das Licht in einem Photomultiplier nach und erhält durch geeignete Elektronik ein Energiespektrum.

Wegen seiner hohen Dichte ($\rho = 3.7$ g/cm^3) und seines hohen Atomgewichtes eignet sich NaI besonders zur Messung der durchdringenden γ-Strahlung. Der hier verwendete Einkristall hat einen Durchmesser von 3 in (1 in = 2,54 cm) und eine Länge von 3 in. Nachteilig ist der hohe Brechungsindex ($n = 1,8$). Um Lichtverluste zu vermeiden, verwendet man verschiedene Phasen von optischen Kitt, um einen möglichst stetigen Übergang im Brechungsindex vom NaI zum Photomultiplier zu erhalten.

© TU-München, Physikalisches Praktikum

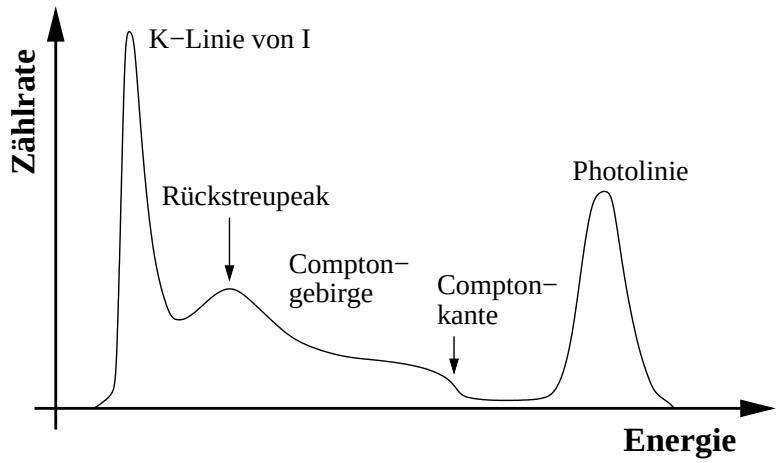

Abbildung 3: Typisches Spektrum eines NaI-Detektors. Man erkennt den Photopeak, die Compton-Kante und das Kompton-Gebirge, einen Rückstreupeak und eine Röntgenfloureszenzlinie (hier K-Liene).

4.1.1 Vorgänge im Kristall

Ein einfallendes γ-Quant reagiert mit den Atomen von NaI, wobei schnelle Elektronen freigesetzt werden. Diese erzeugen längs ihrer Bahn eine Spur von langsamen Elektronen, die wiederum das im NaI-Kristall eingelagerte Thallium anregen. Das angeregte Thallium sendet beim Übergang in den Grundzustand Lichtblitze aus.

Reagieren γ-Quanten mittels Photoeffekt im NaI- Kristall, so wird ihre gesamte Energie im Detektor nachgewiesen. Im Spektrum beobachtet man diese γ-Quanten als „Photopeak“.

Erfolgt die Wechselwirkung mit dem Detektormaterial über den Comptoneffekt, so kann das gestreute γ-Quant den NaI-Kristall verlassen. In diesem Fall wird nur die auf das Elektron übertragene Energie im Detektor nachgewiesen. Es gibt eine maximale Energie, die mit dem Comptoneffekt auf ein Elektron übertragen werden kann, wodurch eine „Comptonkante“ entsteht. Zu niedrigeren Energien schließt sich das „Comptongebirge“ an.

Nach der Paarbildung geben die geladenen Teilchen zunächst Ihre kinetische Energie im Kristall ab. Das Positron rekombiniert dann wieder mit einem Elektron. Von den beiden dabei entstehenden Quanten (511 keV) kann eines oder können beide aus dem Detektor entkommen. In diesen Fällen ist die nachgewiesene Energie des ursprünglichen γ-Quants um den entsprechenden Energiebetrag (single- oder double escape peak) verringert.

Ein typisches Spektrum ist in Abbildung 3 skizziert. Klar zu erkennen ist der Photopeak, die Comptonkante und das Comtongebirge. Darüber hinaus sieht man einen „Rückstreupeak“, der entsteht, wenn γ-Quanten außerhalb des Kristalls gestreut werden (z.B. an der Rückwand der Präparathalterung), und das so gesteute Photon den Detektor erreicht. Durch Röntgenfluoreszenz können zusätzlich Röntgen-Linien im niederenergetischen Bereich des Spektrums sichtbar sein (hier z.B. die K-Linie des Iod)

© TU-München, Physikalisches Praktikum

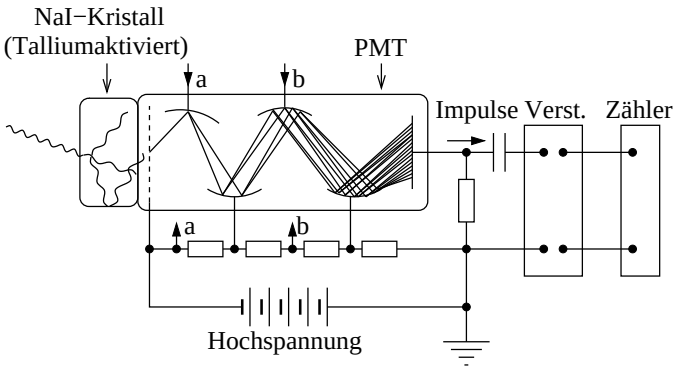

Abbildung 4: Schemazeichnung eines Photomultipliers. Ein Photon trifft auf das Eintrittsfenster und löst auf der lichtempfindlichen Shcicht ein Photoelektron aus, welches in der Hochspannung auf die erste Dynode beschleunigt wird. Dieses Elektron löst durch Stoß dort mehrere Elektronen aus dem Material aus, die iherseits wieder zur nächsten Dynode beschleunigt werden. So entsteht eine Elektronenlavine, die schlussendlich über einen Verstärker und einen Zähler nachgewiesen werden kann.

4.1.2 Eigenschaften des Detektors

Man kann davon ausgehen, dass die Zeit, in der das γ-Quant seine Energie verliert, so klein ist, dass Sie immer einen einzigen Impuls messen werden. Sollten zwei γ-Quanten nahezu gleichzeitig einfallen, wird ein einziges Ereignis mit der Summe der Energien der beiden reellen γ-Quanten registriert.

Für unseren Versuch ist die Linearität zwischen der Energie und der registrierten Kanalnummer sehr gut erfüllt. Einfallende γ-Quanten (im Photopeak) werden einen elektrischen Impuls erzeugen, dessen Höhe proportional zu ihrer Energie ist.

Die mittlere Reichweite, die ein γ-Quant im Kristall zurücklegt, hängt von dessen Dichte, von der Anzahl der Elektronen (d.h. von der Ladungszahl Z des verwendeten Materials) und in ganz starkem Maße von der Energie des γ-Quants ab. Während ein γ-Quant von 50 keV im Durchschnitt bereits nach 0,1 mm von unserem NaI „gestoppt“ wird, legt eines mit 1 MeV im Durchschnitt vorher ca. 5 cm zurück. Durch diese endliche Reichweite ist es auch möglich, dass ein γ-Quant den Detektor wieder verlässt, ohne nachgewiesen zu werden (z.B. single-/double escape bei der Paarbildung).

Damit verbunden ist auch die Nachweiswahrscheinlichkeit der γ-Quanten im Detektor. Für unseren Versuchsaufbau werden die niederenergetischen γ-Quanten zu annähernd 100%, Quanten der 1471 keV Linie von K nur mit ca. 20% Wahrscheinlichkeit nachgewiesen.

Die Teilchen der hochenergetischen Höhenstrahlung verlieren einen bestimmten Energiebetrag im NaI, der dann im Detektor nachgewiesen wird.

4.2 Photomultiplier-Sekundärelektronenvervielfacher

Wie eingangs des Kapitels erwähnt, wird ein Photomultiplier verwendet, um die Signale des Szintillationszählers in Energiewerte zu übersetzen. Die Funktionsweise ist in Abbildung 4 schematisch gezeigt: Die vom Szintillatorkristall ausgesandten Lichtblitze treffen auf den Photomultiplier, wo sie auf der

© TU-München, Physikalisches Praktikum

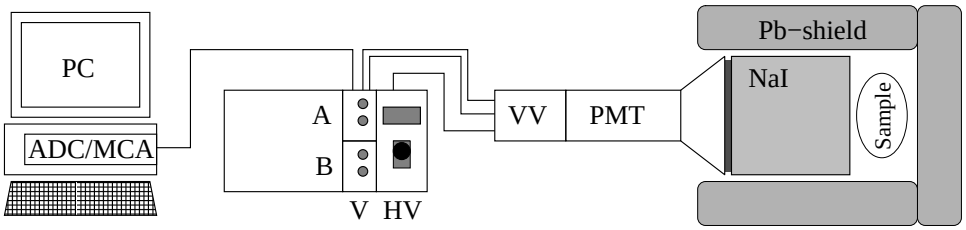

Abbildung 5: Aufbau des Praktikumsversuchs (schematisch): Die im Szintilationskristall erzeigten Lichtblitze werden im Photomultiplier registreiert. Das dadurch entstehende Signal wird Verstärkt, digital gewandelt und im Computer weiterverarbeitet.

Photokathode durch Photoeffekt freie Elektronen erzeugen. Diese werden durch die angelegte Hochspannung zur ersten Dynode beschleunigt und setzen dort weitere Elektronen frei. Dies wiederholt sich, bis schließlich eine Elektronenlawine auf der Anode ein Signal erzeugt. Die zwischen Kathode und Anode angelegte Hochspannung (im Versuch ca. 900 V) wird dabei über einen Spannungsteiler auf die einzelnen Dynoden verteilt. Das Signal an der Anode wird dann von einem Vorverstärker weiterverarbeitet.

5 Versuchsdurchführung

5.1 Aufbau

Der Versuchsaufbau ist schematisch in Abbildung 5 dargestellt. Er besteht aus dem Szintilationskristall (NaI), dem Photomultiplier und der anschließenden Elektronik mit dem Computer, der schließlich die Daten aufzeichnet. Im Folgenden sind die einzelnen Elemente aufgelistet.

NaI-Zähler:
Vorsicht! Der Detektor ist sehr empfindlich! Ein Sprung oder Riss im Kristall bzw. in der Ummantelung macht ihn unbrauchbar. Die Zähler in dem Schutzgehäuse belassen und keinesfalls fallen lassen! Die Vorderseite (das „Fenster“) nach Möglichkeit nicht berühren.

PMT: Photo-Multiplier-Tube

HV: High Voltage = Hochspannungsversorgung für den Photomultiplier

VV: Vorverstärker

V: Das Vorverstärkersignal wird mit einem Doppelverstärker („dual coarse amp A & B“) weiter verstärkt und mittels Integration und Differentiation geglättet. Die maximale Höhe des Signals ist proportional zur Energie des gemessenen γ-Quants.

ADC: Analog-Digital-Converter = Analog-Digital-Wandler

MCA: Multi Channel Analyser = Vielkanalanalysator
ordnet die Signale vom ADC proportional zur Signalhöhe verschiedenen Kanälen zu, und erstellt so das Spektrum.

© TU-München, Physikalisches Praktikum

Pb-shield: Durch die Bleiziegel wird die Untergrundstrahlung weitgehend abgeschirmt, so dass auch Proben niedriger Aktivität gemessen werden können. In den Spektren werden Sie feststellen, dass Sie auch γ-Quanten messen, die von der Abschirmung herrühren.

PC: Die Bedienung des Messprogramms am PC ist im Anhang A beschrieben.

5.2 Vorbereitung und Messung

Bitte bedenken Sie, das Sie es bei diesem Versuch zwar mit einem einfachen Versuchsaufbau, jedoch mit sehr teuren und empfindlichen Geräten zu tun haben. Diese können durch unsachgemäße Behandlung leicht zerstört werden. Lassen Sie also besondere Vorsicht walten.

5.2.1 Einschalten

- Vergewissern Sie sich, dass die Hochspannungsversorgung auf 0 gestellt ist! Die Verstärkung sollte auf ein Minimum eingestellt werden (d.h. Coarse auf 10 und Fine auf 0.5).
- Hochspannung (HV) einstellen: Drehknopf über „Stand by“ auf „on“ schalten, mit dem Einstellknopf **langsam** auf 850 - 900 V (Anzeige 0.85-0.90) hochdrehen, sonst könnte der PM beschädigt werden.
- Computer einschalten und Messprogramm starten. Eine Einführung zum Messprogramm ist im Anhang zu finden.

5.2.2 Liste der vorhandenen Messproben

Folgende Proben sind im Praktikum vorhanden:

- Drei Kalibrierquellen: ^{22}Na, ^{60}Co, ^{137}Cs
- Drei Flaschen mit Kaliumcarbonat: Ka_2CO_3, je ca. 100 g
- Zwei Tschernobylproben aus Bayern 1986: Molke, Graspellets
- Thoriummetall: 52 g, 20000 Bq
- Uranoxid, 3.76 , 80000 Bq
- Weitere Proben:

  ein großer Granitstein, sechs kleine Granitsteine, Blaukorndünger Nitrophoska, Monazitsand, Wecker mit Leuchtzeigern, getrocknete Pilze

6 Messungen und Aufgaben

Hinweis: Da die Messung schwach radioaktiver Proben zum Teil viel Zeit in Anspruch nimmt, wird dringend empfohlen, zuerst die nächste Messung zu starten und dann die Aufgabe des vorhergehenden Abschnitts in Angriff zu nehmen.

© TU-München, Physikalisches Praktikum

6.1 Aufnahme der Kalibrierspektren

Um später bei unbekannten Quellen die Energie der beobachteten γ-Quanten bestimmen zu können, müssen Sie den Kanalnummern (x-Achse Ihres Spektrums) Energien zuordnen. Dazu nehmen Sie die Spektren von Kalibrierquellen (^{22}Na, ^{60}Co, ^{137}Cs), deren γ-Energien genau bekannt sind, auf und bestimmen die Kanalnummern der Linien.

1. Legen Sie die Eichquelle vor den NaI-Detektor und umgeben Sie Quelle und Detektor mit Bleiziegeln.
2. Starten Sie die Messung, das Messprogramm stoppt nach der eingestellten Messzeit automatisch. Als Messdauer für die Kalibriermessungen sind 60 s ausreichend.

Nach dem Starten der Messung wird jeder einlaufende Impuls seiner Energie entsprechend in einem bestimmten Kanal gezählt. Bestimmte Energiewerte kommen besonders häufig vor (sogenannte „Peaks“). Im Spektrum soll später noch die 2615 keV-Linie von Th sichtbar sein. Deshalb muss die 1333 keV-Linie von ^{60}Co unter Kanal 500 fallen. Wenn diese Linie zu hoch liegt, müssen Sie die Multiplierspannung zurückdrehen (850 - 900 V) und neu eichen.

Bestimmen Sie die Kanalnummern der Peakmaxima (mit dem Messprogramm lassen sich die Peakschwerpunkte mit Unsicherheit ermitteln). Mit Hilfe der Tabelle 1 können Sie diesen Kanalnummern dann Energiewerte zuordnen.

Wenn Sie die ^{22}Na-Quelle ganz nah an den Detektor legen, sehen Sie außer den 511 keV- und 1275 keV-Linien noch eine 1787 keV-Linie (warum?). In gleicher Weise tritt bei der ^{60}Co-Quelle bei nahem Abstand außer bei 1173 keV und 1333 keV noch bei 2506 keV eine Linie auf. Beide Linien sollen auch für die Kalibrierung verwendet werden.

Aufgabe 1:
Tragen Sie für alle verwendeten Präparate die Kanalnummer der gefundenen Peaks zusammen mit ihrer Energie aus den Tabellen auf. Führen Sie dann die Energie-Kalibrierung durch, wobei ein linearer Zusammenhang (aber keine Ursprungsgerade!) angenommen werden kann. Lassen sich systematische Abweichungen dieser Kalibrierkurve von einer Geraden feststellen?

Aufgabe 2:
Berechnen Sie die zusätzliche jährliche Strahlenbelastung, die Sie auf sich nehmen würden, wenn Sie Ihr Leben 1 m entfernt von unserer stärksten im Praktikum verwendeten Kalibrierquelle (^{137}Cs) verbringen würden (Aktivität der Quelle 1997: 37 kBq). Gehen Sie dabei folgendermaßen vor:

- Berechnen Sie die Aktivität zum jetzigen Zeitpunkt.
- Schätzen Sie den Raumwinkel ab, den Ihr Körper in 1 m Abstand einnimmt?
- Wenn Sie die γ-Quanten vollständig absorbieren, wieviel Energie wird in einem Jahr durch diese Strahlung auf Ihren Körper übertragen?
- Welcher effektiven Dosis entspricht dies? (Körpergewicht)

6.2 Messung des Untergrunds

Wir sind ständig radioaktiver Strahlung ausgesetzt. Messen Sie diesen radioaktiven Untergrund 10 min lang **ohne Bleiabschirmung**. Bestimmen Sie die Anzahl der nachgewiesenen γ-Quanten.

© TU-München, Physikalisches Praktikum

Messen Sie nun auch den Untergrund **mit vorhandener Bleiabschirmung** für 10 min.

Beschreiben Sie den Unterschied der Untergrundmessung mit und ohne Bleiabschirmung.

Aufgabe 3:
Versuchen Sie aus Ihrer Messung die jährliche natürliche Strahlenbelastung (Sv/a) durch diese niederenergetischen γ-Quanten abzuschätzen.

- Nehmen Sie an, dass jedes γ-Quant im Detektor nachgewiesen wird, und auch der Mensch fast alle niederenergetische γ-Quanten absorbiert.
- Berechnen Sie die Masse des NaI-Kristalls (siehe 4.1).
- Nehmen Sie eine mittlere Energie der γ-Quanten von 100 keV an.

6.3 Messung der Kaliumcarbonat Probe

Nehmen Sie das Spektrum für Kaliumcarbonat (K_2CO_3) auf (10 min).Bestimmen Sie die Kanalnummer des ^{40}K-Peaks und berechnen Sie daraus die Energie. Passt der Wert zum erwarteten?

Geben Sie die Anzahl der nachgewiesenen Quanten an, die aus dem Zerfall von ^{40}K stammen. Bestimmen Sie dazu die Zahl der Zerfälle im ^{40}K-Peak und ziehen Sie davon die Zahl der Zerfälle, die Sie im Untergrundspektrum im gleichen Energiebereich beobachtet haben, ab. Vergessen Sie nicht, die Unsicherheit zu bestimmen (vgl. Frage 5 im Fragenteil).

Aufgabe 4:
Berechnen Sie die Aktivität des ^{40}K in der Probe. Gehen Sie folgendermaßen vor:

- Berechnen Sie die Stoffmenge und daraus die Anzahl der K-Atome in Ihrer K_2CO_3-Probe.
- Der Anteil der radioaktiven ^{40}K-Atome beträgt 0,01%. Wieviele radioaktive Atome sind in der Probe?
- Wieviele ^{40}K-Atome zerfallen pro Sekunde? ($T_{1/2} = 1,28 \cdot 10^9$ a)

Vergleichen Sie diesen Wert mit dem von Ihnen gemessenen. Erklären Sie die Differenz?

6.4 Messung einer Tschernobylprobe

Messen Sie eine der Proben, die 1986 in Bayern gesammelt wurden, 10 min lang und identifizieren Sie die Linien. Welches Isotop finden Sie?

Gehen Sie beim Identifizieren der Linien (hier und auch im Weiteren) folgendermaßen vor:
Bestimmen Sie zunächst die Kanalnummer des Schwerpunktes des Peaks. Schätzen Sie dafür eine Unsicherheit ab. Berechnen Sie mit Ihrer Kalibrierkurve die zugehörige Energie mit Unsicherheit (Welche Unischerheiten sind zu berücksichtigen?). Überprüfen Sie dann, welche Nuklide Sie den gefundenen Linien zuordnen können.

Aufgabe 5:
Berechnen Sie Ihre Strahlenbelastung durch die γ-Strahlung, wenn Sie die vermessene Probe essen würden. Nehmen Sie an, dass die Probe etwa eine Woche in Ihrem Körper bleibt, gleichmäßig verteilt ist und dass alle γ-Quanten absorbiert werden. (Essen Sie die Proben aber nicht, sondern lassen Sie sie für nachfolgende Teams da!)

© TU-München, Physikalisches Praktikum

6.5 Messung von Uranoxid und Thoriummetall

Messen Sie die Uranoxid- und die Thoriummetall-Probe (ca. 5 min) und identifizieren Sie die Linien. Lassen sich alle in Tabelle 1 für die jeweilige Zerfallsreihe aufgeführten Isotope identifizieren. Falls nicht, was könnte der Grund sein?

6.6 Messung einer frei gewählten Probe

Messen Sie das Spektrum einer weiteren Probe aus der Liste 5.2.2 oder einer Probe, die Sie selbst mitbringen (10-20 min). Interessant sind z.B. ein frischer Staubsaugerbeutel, eine italienische Keramik oder Kachel mit Uran in der Glasur (braun-gelbgrün), Bleiglas, der Glühstrumpf einer Gaslampe oder einfach die Wand im Praktikumsraum. Bestimmen Sie die Elemente in der Probe.

6.7 Messung der Höhenstrahlung

Mit unserem Versuch können Sie sich selbst von der Strahlenbelastung durch Höhenstrahlung überzeugen. Ein durch den Detektor laufendes Teilchen mit 1 GeV wird einen Energieverlust von ca. 40 MeV erleiden. Um diese Teilchen zu messen, müssen Sie also zuerst die Energie-Eichung verändern. Führen Sie also diesen Versuch als letzten Versuch dieses Praktikums durch. Die Änderung der Energie-Eichung erfolgt durch Spannungsänderung der HV-Versorgung des Photomultipliers. Die Höhe des erzeugten Pulses (der Kanal) ist allerdings nicht linear zu der am Photomultiplier angelegten Spannung (warum?). Um die Energie-Eichung zu verändern, legen sie noch einmal die ^{60}Co-Eichquelle nah vor den Detektor. Erniedrigen Sie die Spannung so lange, bis die 1333 keV Linie in Kanal 27 im Spektrum auftaucht. Mit den drei Linien bei 1173 keV, 1333 keV und 2506 keV können Sie eine grobe Energieeichung vornehmen. Im Kanal 1000 sollte etwa 50 MeV sein. Entfernen Sie dann alle Quellen (in den Schrank, ggf. hinter Blei) und die Bleiabschirmung um den Detektor. Messen Sie 15 min lang. Lesen Sie die Inhalte der Kanäle 100- 199, 200-299,....,900-999 aus. Die Kanäle 1-99 interessieren bei der Messung der Höhenstrahlung nicht, da hier im wesentlichen die Strahlung radioaktiver Nuklide registriert wird.

Aufgabe 6:
Schätzen Sie die Strahlenbelastung durch die Höhenstrahlung pro Jahr ab. Gehen Sie dabei wie folgt vor:

- Berechnen Sie die Energie, die der Detektor durch die einfallenden Teilchen im Jahr erhält.
- Nehmen Sie an, 1 kg des menschlichen Körpers erhalte dieselbe Energie wie 1 kg Detektormasse (nur sehr grob richtig).

© TU-München, Physikalisches Praktikum

7 Fragen

1. Wieso haben die im Versuch beobachteten Peaks eine Breite? Warum werden nicht alle γ-Quanten einer ganz bestimmten Energie in einem einzigen Kanal gezählt? Was versteht man unter dem Begriff Halbwertsbreite?

2. Erklären Sie, aus welchen Peaks sich das ^{22}Na-Spektrum zusammensetzt und woher sie kommen (z.B. die 511 keV Linie).

3. Wieso ist in den Spektren eine Linie bei 77 keV zu sehen? (Hinweis: Bleiabschirmung).

4. In der Einführung wurde darauf hingewiesen, dass die einzige Aussage, die man über den Zerfall von Atomkernen machen kann, statistischer Natur ist. Die statistische Unsicherheit, die Sie durch Zählen der Zerfälle machen, ist $\Delta n = \sqrt{n}$. Was bedeutet dies für hohe Zählraten?

5. In einem frisch gereinigten langlebigen radioaktiven Präparat wie z.B. Ra steigt die Aktivität zunächst an. Bevor sich die Abnahme durch das Zerfallsgesetz bemerkbar macht, bleibt diese Aktivität jedoch lange Zeit nahezu konstant. Können Sie sich dieses Verhalten erklären? Denken Sie an die Erzeugung von Tochterkernen und an deren Zerfall.

6. Wie kann α-, β-, γ-Strahlung abgeschirmt werden? Wie kosmische Strahlung?

7. Warum sieht man bei Th Linien bei 2615 keV, 2104 keV und 1593 keV? (Dies lässt sich auch im Spektrum der Thoriumprobe beobachten!).

8. Überlegen Sie sich Schritt für Schritt, was passiert, wenn ein γ-Quant in den NaI-Kristall fällt, absorbiert wird und schließlich in einen Kanal auf dem Bildschirm gezählt wird.

© TU-München, Physikalisches Praktikum

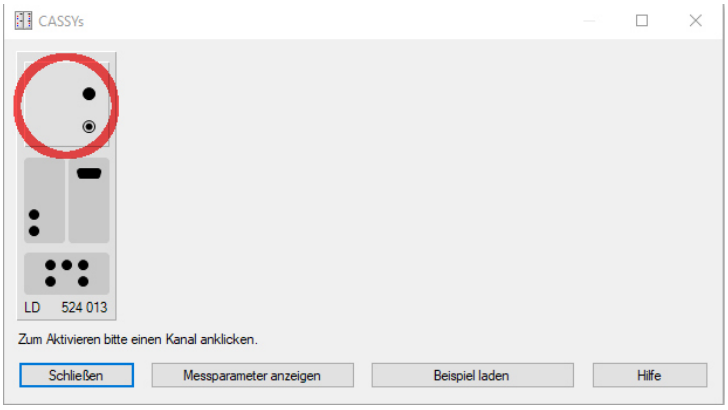

Abbildung 6: Auswahl der vorhandenen Cassy-Geräte. Dieses Fenster erscheint beim Start des Programms.

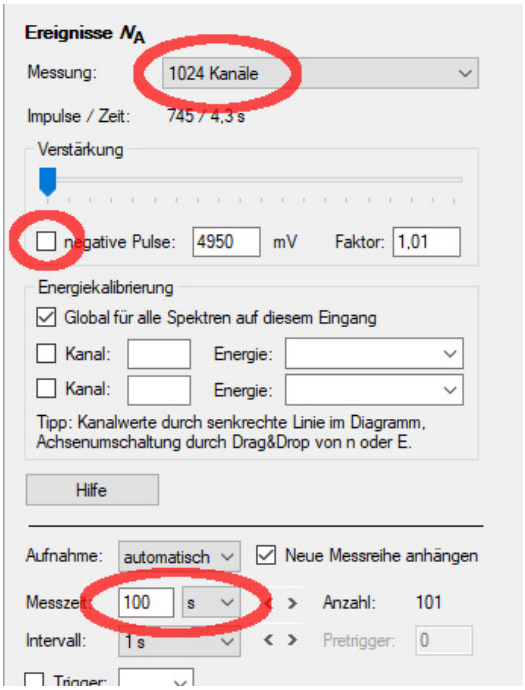

Abbildung 7: Messparameter in Cassy. Hier werden die nötigen Anpassungen (Kanalnummer, Vorzeichen des Signals, Messdauer) angepasst.

A Bedieunung des Programms *Cassy Lab*

Die Datenerfassung erfolgt mit dem Programm *Cassy Lab*. Nach dem Start des Programms erscheint das Fenster *Einstellungen* (Abbildung 6), in dem die angeschlossenen Geräte (in unserem Fall sollte dies nur die VKA-Box sein) angezeigt weden. Klicken Sie das VKA-Box-Symbol an, Sie gelangen dann zu den *Messparametern*. Klicken Sie dort die VKA-Box an, Sie kommen dann in das Hauptfenster. Auf der Rechten Seite können Sie die *Messparameter* anpassen (Abbildung 7).

Achten Sie hier darauf, dass die Anzahl der Kanäle auf 1024 eingestellt ist, und dass bei der Pulshöhe

© TU-München, Physikalisches Praktikum

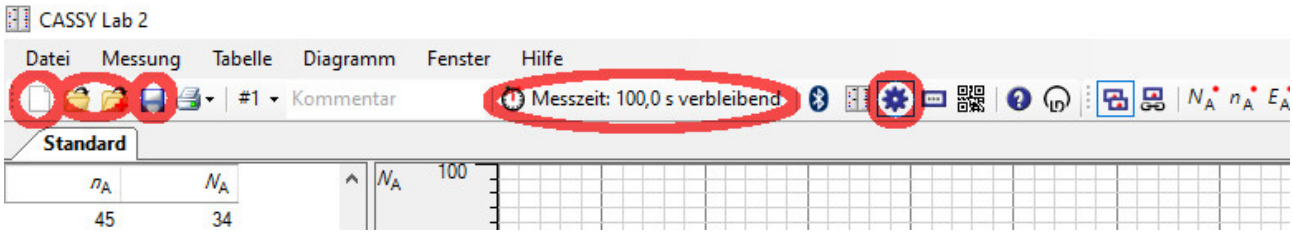

Abbildung 8: Schaltknöpfe des Hauptfensters in Cassy. Hier gibt es Dateioptionen, Starten und Stoppen der Messung und Öffnen und Verbergen einiger andere Fenster.

ein positiver Wert steht (entfernen Sie gegebenenfalls den Haken bei *Negative Pulse*). Hier können Sie auch die Messzeit einstellen.

Die Menüleiste des Hauptfensters enthält Schaltknöpfe für die Programmsteuerung (Abbildung 8). Die wichtigen davon sind von links nach rechts:

1. Datei Neu: Löscht entweder die aktuelle Messreihe unter Beibehaltung ihrer Einstellungen oder, wenn die aktuelle Messreihe leer ist, alle Messwerte, oder, wenn keine Messwerte vorhanden sind, die aktuellen Einstellungen.

   Eine zwei- oder dreimalige Anwendung löscht eine Messung komplett mit ihren Einstellungen.

   Achtung, diesen Punkt nicht unbedacht anwenden. Es könnte Ihre Messung verloren gehen.

2. Datei Öffnen, bzw. Anhängen: Der linke Knopf lädt eine Messreihe mit ihren Einstellungen und ihren Auswertungen. Fer Rechnte hängt eine Messreihe an eine vorhandene Messreihe an (ohne ihre Einstellungen und Auswertungen mit zu laden). Dies ist möglich, wenn beide Messreihen die gleichen Messgrößen besitzen. Alternativ kann eine weitere Messreihe auch nachträglich gemessen und angehängt werden.

3. Speichern: Speichert die aktuellen Messreihen mit ihren Einstellungen und Auswertungen ab. Eine sinnvollere Methode zum Speichern der Daten ist: Klicken Sie mit der rechten Maustaste in der Tabelle und wählen Sie „Tabelle Kopieren“. Speichern Sie die Tabelle in einem Editor Ihrer Wahl. Ab und zu zwischenspeichern schadet nie!

4. Messung starten: Startet und stoppt eine neue Messung. Alternativ kann die Messung durch die Vorgabe einer Messzeit gestoppt werden.

5. Einstellungsmenü öffnen/schließen: Über dieses Menü können Sie die *Messparameter* am rechten Bildrand öffnen und schließen.

Das Hauptfenster ist in der Standardeinstellung drei Teile geteilt (Abbilfung 9. Im linken Teil wird die Datentabelle dargestellt. Die Tabelle kann auch in die Zwischenablage kopiert, und zum Weiterverarbeiten in andere Programme eingefügt werden.

Im Rechten Teil wird das Menü *Messparameter*, das durch den Button in der Menüleiste aus- und eingeblendet werden kann-

Im mittleren Teil sind die Daten als Graphen dargestellt. Klickt man mit der rechten Maustaste in die Graphik, erhält man die Möglichkeit einige Auswertungen (z.B. Peakintegrale, Peakschwerpunkte)

© TU-München, Physikalisches Praktikum

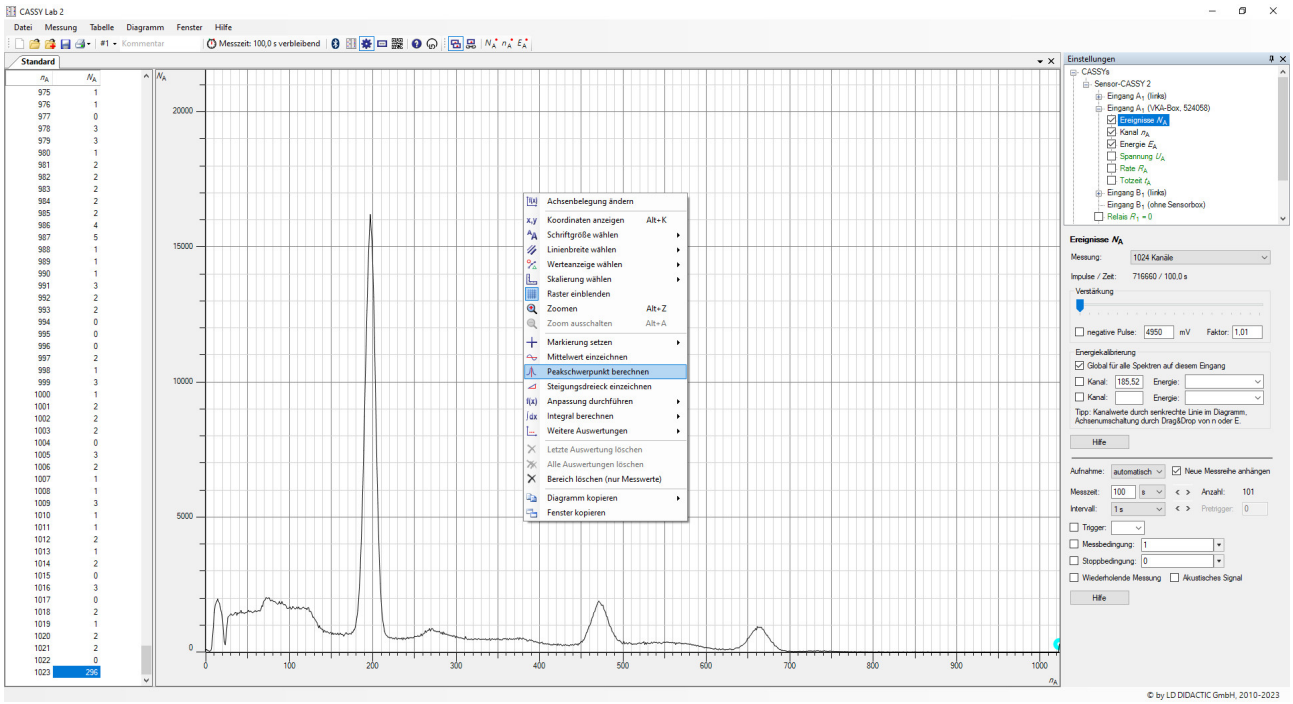

Abbildung 9: Hauptfenster von Cassy-Lab: Links sind die Datentabellen, in der Mitte die graphische Darstellung. Rechts kann das Einstellungsfenster eingeblendet werden.

durchzuführen. Es ist sinnvoll, direkt nach den Messungen die später benötigten Daten (z.B. die Peakschwerpunkte) zu bestimmen und im Protokoll zu notieren. Das spart später Zeit bei er Auswertung, und Sie haben gleich etwas für das Protokoll.

Durch Anklicken der Achsen (rechte Maustaste) lässt sich die Skalierung ändern (linear oder logarithmisch, Minimum und Maximum der Anzeige).

In der Darstellung *Übersicht* werden alle Messungen in eigenen Graphen dargestellt. Hier können Operationen zwischen einzelnen Graphen durchgeführt werden (z.B. Untergrundabzug). Notieren Sie sich unbedingt, welcher Graph was bedeutet (Messungen, Messungen nach Untergrundabzug, ...). Man verliert sonst sehr schnell die Übersicht!

© TU-München, Physikalisches Praktikum

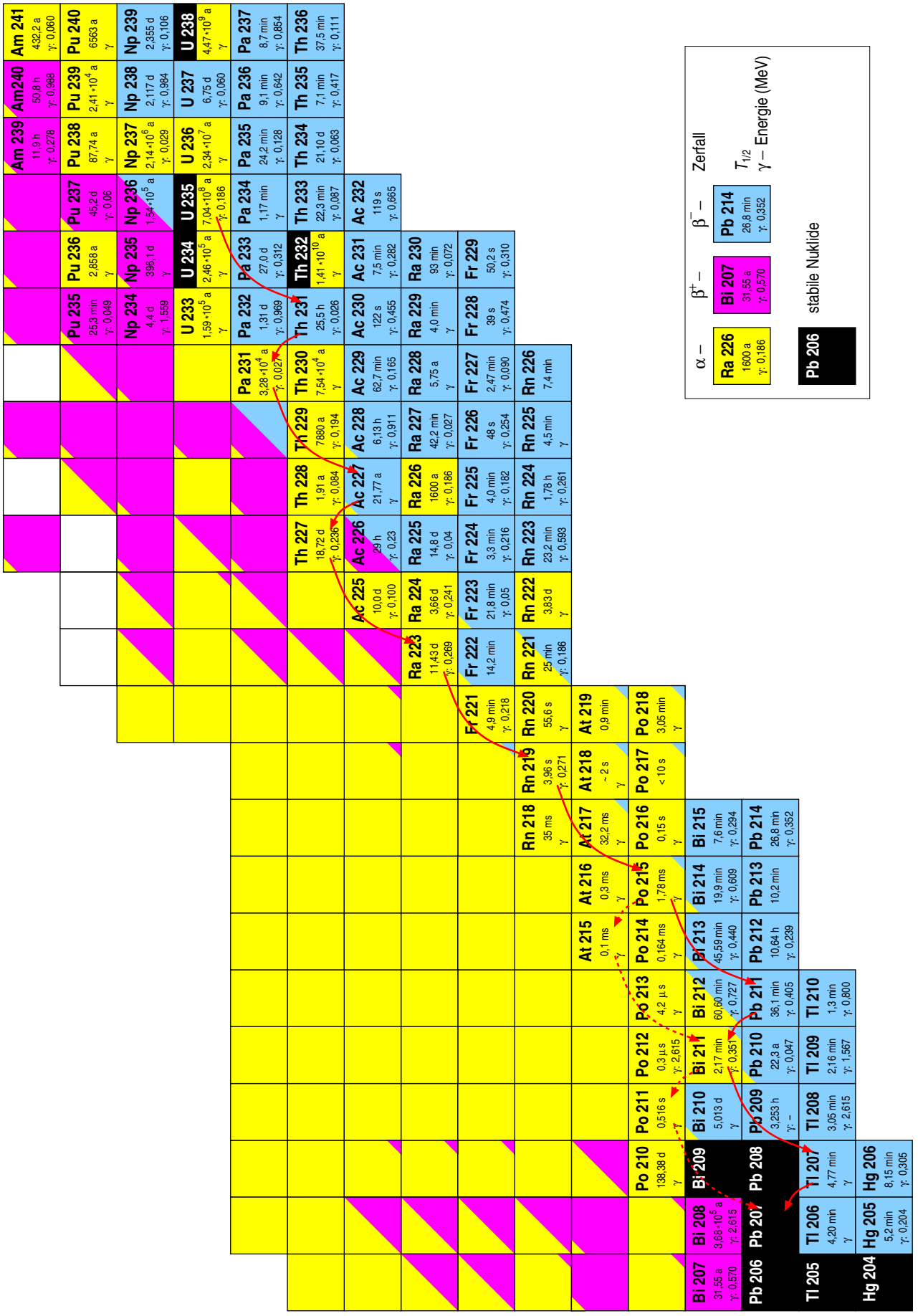

Abbildung 10: Ausschnitt aus der Nuklidkarte. Die Zerfallsreihe für ^{235}U ist mit roten Pfeilen markiert.

© TU-München, Physikalisches Praktikum