

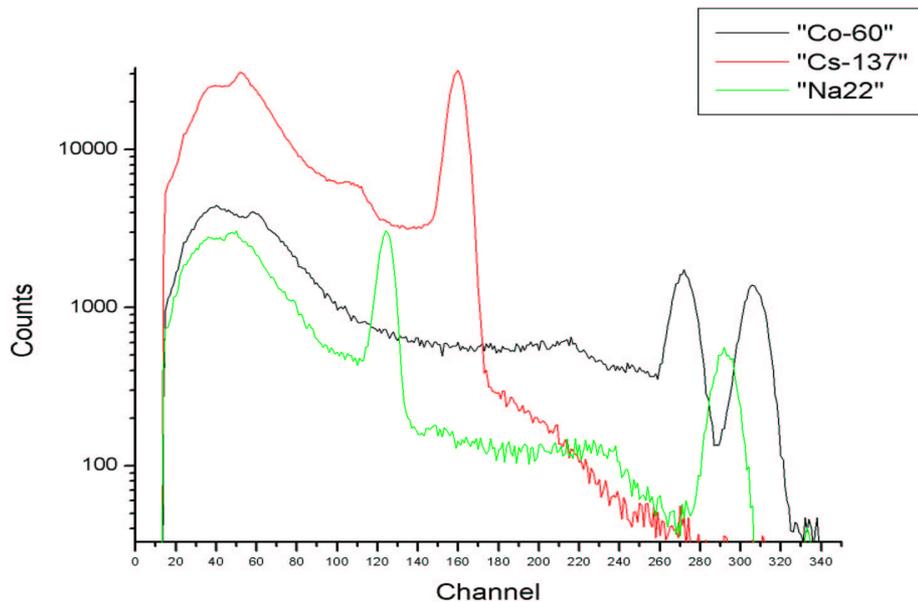
Radioaktivität (RAD)

Manuel Staebel – 2236632 / Michael Wack 2234088

1 Versuchsdurchführung und Aufgaben

1.1 Messung 1: Aufnahme der Eichspektren

Ziel dieser Messung war es, eine Zuordnung zwischen den Kanalnummern und der Energie der registrierten Strahlung zu erhalten. Dazu wurden die Spektren der drei Eichquellen (^{22}Na , ^{60}Co , ^{137}Cs) nacheinander aufgenommen. Auf eine Abschirmung oder ein rechnerisches eliminieren der Hintergrundstrahlung konnte verzichtet werden, da die Quellen stark strahlen und nur die Lage der charakteristischen Linien, deren Energien genau bekannt sind, von Bedeutung ist. Als Ergebnis erhielten wir folgendes Diagramm:

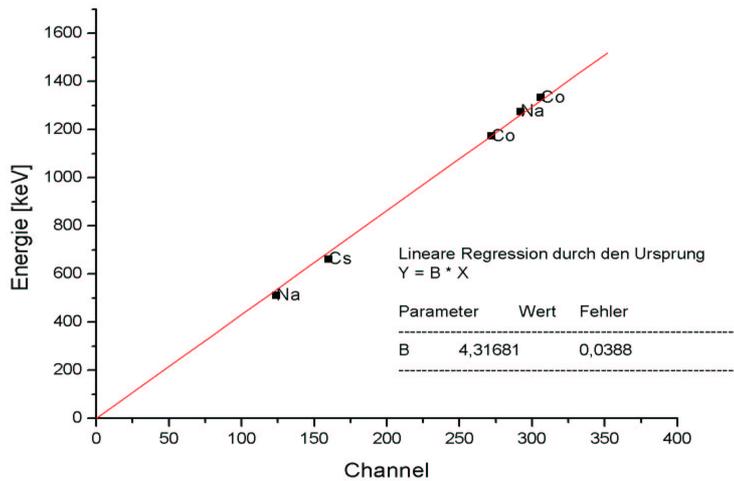


1.2 Aufgabe 1:

Aus dem oben abgebildeten Diagramm und den Messwerten lassen sich sehr genau, die Kanalnummern der Peaks ermitteln und ihnen die bekannten γ -Energien zuordnen. Trägt man diese beiden Größen in ein Diagramm ein, erkennt man sofort den linearen Zusammenhang.

Es wurden folgende Werte verwendet:

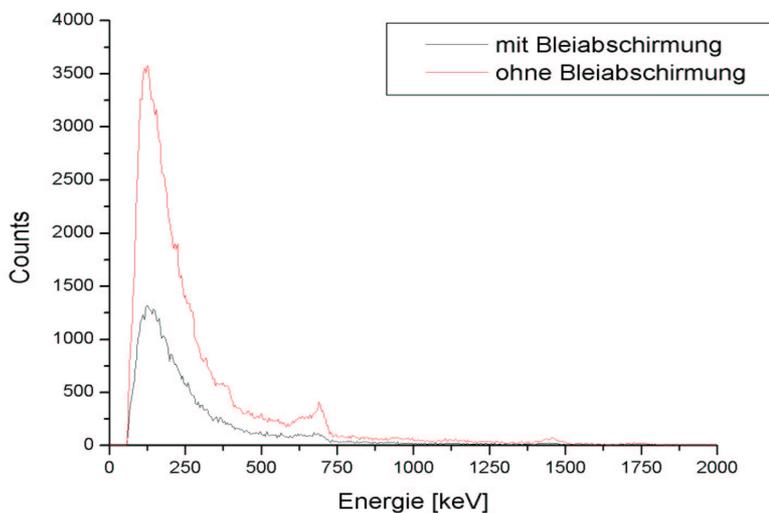
	^{22}Na		^{60}Co		^{137}Cs
Kanalnummer	124	292	272	306	160
Energie [keV]	511	1275	1173	1333	662



Damit kann man bei allen anderen Messungen, jedem Kanal eine bestimmte Energie zuordnen, die auch als Skalenbeschriftung in den folgenden Diagrammen gewählt wurde. Die Eichgerade weist keine erkennbaren systematischen Abweichungen auf.

1.3 Messung 2:

Bei diesem Versuch wurde, die Untergrundstrahlung mit und ohne Bleiabschirmung bestimmt. Dies ist wichtig, um die nachfolgenden Messungen entsprechend korrigieren zu können.



Wie man sieht, ist es durchaus sinnvoll eine Bleiabschirmung zu verwenden, da die Untergrundstrahlung dadurch erheblich vermindert wird. Ohne Blei wurden $165 \cdot 10^3$ γ -Quanten nachgewiesen, mit Blei reduzierte sich der Wert um 60% auf $65 \cdot 10^3$.

1.4 Aufgabe 2: Abschätzung der natürlichen Strahlenbelastung

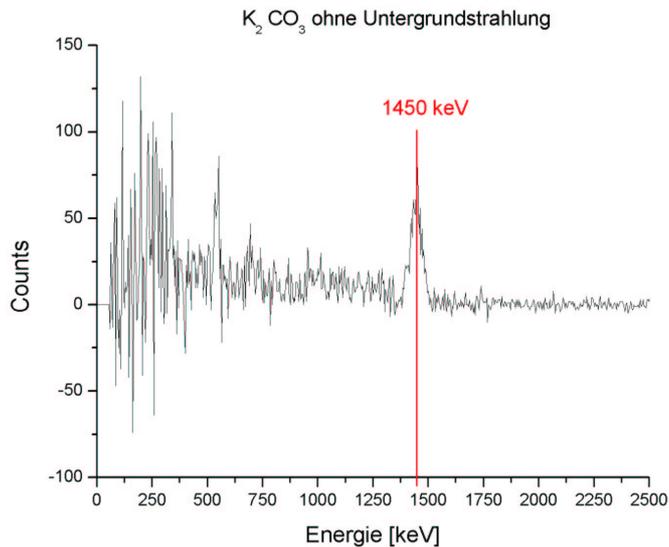
Berechnung der Masse des verwendeten NaI-Kristalls:

$$m_K = \pi \cdot (3 \cdot 2,54 \cdot 10^{-2} \text{ m})^3 \cdot 3,7 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 5,14 \text{ kg}$$

Bei einer mittleren Energie von $100 \text{ keV} = 1,6 \cdot 10^{-14} \text{ J}$ pro γ -Quant ergibt sich die Jahresdosis zu:

$$\frac{165 \cdot 10^3 \cdot 1,6 \cdot 10^{-14} \text{ J}}{5,14 \text{ kg}} \cdot \frac{365,25 \cdot 24 \cdot 60 \text{ min}}{10 \text{ min}} = 2,7 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Sv}}{\text{a}}$$

1.5 Messung 3: Messung der Kaliumcarbonat Probe



Aus dem Diagramm ist die Untergrundstrahlung bereits herausgerechnet. Aufgrund des statistischen Charakters der Erfassung, treten bei niedrigen Energien zum Teil auch negative Werte auf. Dies ist immer dann der Fall, wenn in einem Kanal weniger γ -Quanten von Kalium als von der Hintergrundstrahlung registriert wurden. Dem aufgenommenen Spektrum kann man erwartungsgemäss den γ_1 -Peak des K-40 entnehmen. Dieser sollte bei 1471 statt bei 1450 keV liegen. Dies entspricht einem Fehler von ca. 1,4%. Vom Zerfall des K-40 wurden in diesem Fall 85 γ -Quanten registriert.

1.6 Aufgabe 3:

Aktivität der Quelle 1990: 333 kBq

Berechnung der Aktivität der Quelle heute (10 Jahre später):

$$A(t) = A_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot t} \Rightarrow A(10a) = 3,33 \cdot 10^5 \text{ Bq} \cdot e^{-\frac{\ln 2}{30,2a} \cdot 10a} = 2,65 \cdot 10^5 \text{ Bq}$$

Wenn man davon ausgeht, dass ein durchschnittlicher menschlicher Körper eine Angriffsfläche von ca. 1 m^2 hat, ergibt sich die in einem Jahr absorbierte Energie, wie folgt:

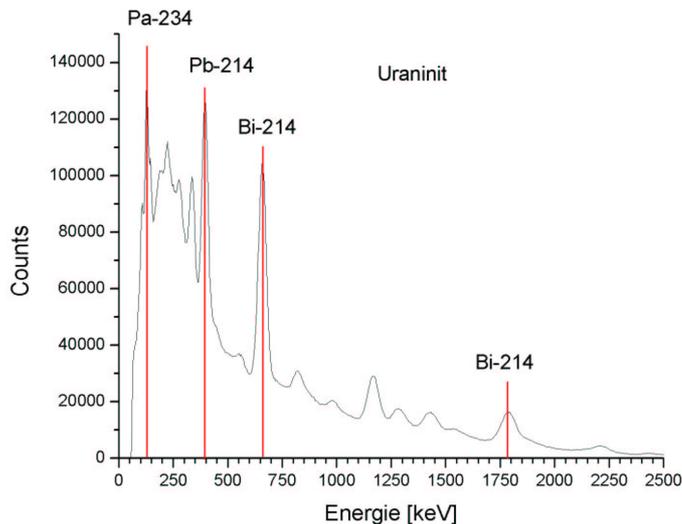
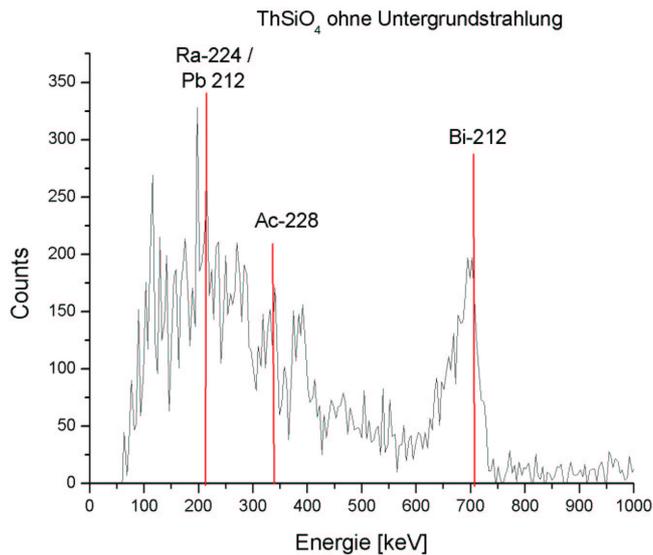
$$E = 2,65 \cdot 10^5 \text{ Bq} \cdot \frac{1}{4\pi} \cdot 365,25 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s} \cdot 6,62 \text{ keV} = 5,54 \cdot 10^{13} \text{ keV} = 8,86 \text{ mJ}$$

Bei einem Körpergewicht von 80 kg entspricht dies:

$$H = \frac{E}{m} = \frac{8,86 \text{ mJ}}{80 \text{ kg}} = 0,11 \text{ mSv}$$

1.7 Messung 4: Messung der Uran- und Thoriumminerale

Es wurden die Spektren von ThSiO_4 und Uraninit aufgenommen. Die identifizierten typischen Linien sind in den folgenden beiden Diagrammen eingetragen.



1.8 Aufgabe 4: Berechnen Sie die Aktivität des K-40

Ein Mol K₂CO₃ wiegt: $2 \cdot 39 + 12 + 3 \cdot 16 \text{ g} = 138 \text{ g/mol}$

Die gemessene Probe hatte eine Masse von 100g, daraus ergibt sich die Stoffmenge, wie folgt:

$$n_{K_2CO_3} = \frac{100 \text{ g}}{138 \text{ g/mol}} = 0,725 \text{ mol}$$

$$n_K = 2 \cdot n_{K_2CO_3} = 1,45 \text{ mol}$$

Die Anzahl der enthaltenen ⁴⁰K-Atome beträgt: $N_{^{40}K} = 0,0001 \cdot 1,45 \cdot 6,022 \cdot 10^{23} = 8,73 \cdot 10^{19}$

Berechnete Aktivität des Kaliums:

$$T_{1/2} = 1,3 \cdot 10^9 \text{ a}; A(t) = -\frac{dN}{dt} = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \cdot \lambda \Rightarrow A_0 = \lambda \cdot N_0;$$

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \Rightarrow A_0 = \frac{\ln 2 \cdot N_0}{T_{1/2}} = 1,47 \text{ kBq}$$

Gemessene Aktivität:

1500 Zerfälle in 10 Minuten, dies entspricht einer Aktivität von $A_m = \frac{1500}{600} \text{ s} = 2,5 \text{ Bq}$

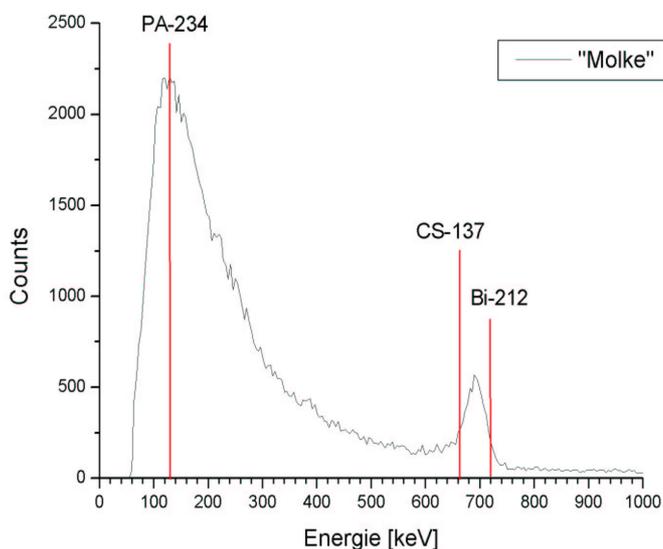
Verhältnis von gemessener und berechneter Aktivität: $\frac{2,5 \text{ Bq}}{1,47 \text{ kBq}} = 0,17 \%$

Dieser sehr kleine Anteil der gemessenen γ -Quanten hat folgende Ursachen:

- Der Detektor erfasst bei weitem nicht alle γ -Quanten (nur ca. 20 % der einfallenden Quanten reagieren mit dem Kristall).
- Ein Grossteil der Quanten fliegt am Detektor vorbei, da die Quelle in alle Raumrichtungen strahlt.

1.9 Messung 5: Tschernobylprobe

Als Probe suchten wir uns die „Molke“ aus.



Der erste Peak im Spektrum ließ sich sehr genau PA-234 (Protactinium) zuordnen. Der zweite Peak fällt ziemlich genau zwischen die charakteristischen Linien von Cs-137 und Bi-212. Entweder es handelt sich um ein völlig anders Element, dessen γ -Energien uns unbekannt sind oder das Spektrum ist etwas verschoben, sodass in Wirklichkeit doch eines der beiden oben genannten Elemente in der Probe enthalten ist. Da bereits bei den vorherigen Messungen eine kleine Streckung des Spektrums in Richtung höherer Energie zu erkennen war, stammt der zweite Peak wahrscheinlich von Cs-137.

1.10 Aufgabe 5: Strahlenbelastung beim Essen der Proben

Aus den Messwerten lassen sich mit dem Computer folgende Werte errechnen:

- Anzahl aller registrierter γ -Quanten in fünf Minuten: 115361
- Durchschnittliche Energie der γ -Quanten: 319 keV

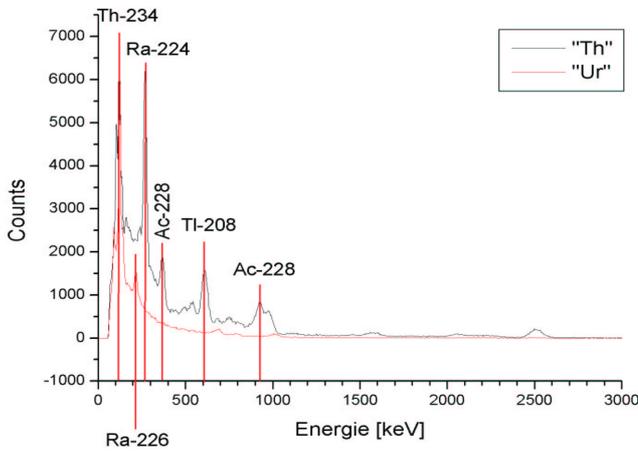
Daraus lässt sich nun die Energie berechnen, die in einer Woche im Körper freigesetzt würde:

$$115361 \cdot 12 \cdot 24 \cdot 7 \cdot 319 \text{ keV} = 7,4 \cdot 10^{13} \text{ eV} = 1,19 \cdot 10^{-8} \text{ J}$$

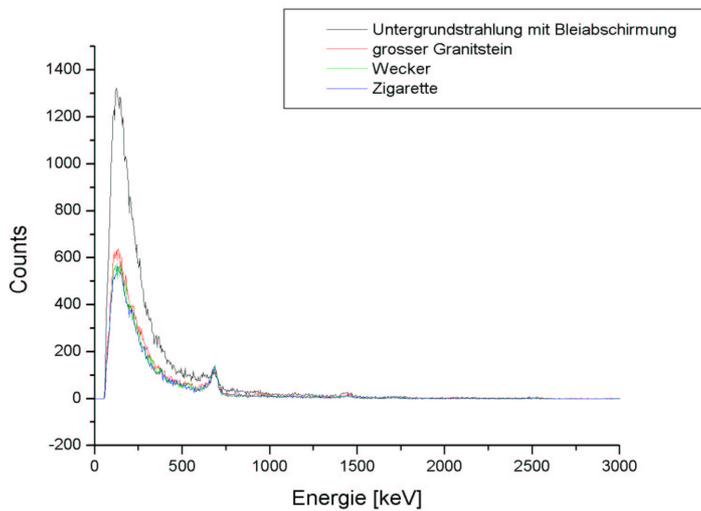
Bei einem Körpergewicht von 80 kg entspricht dies einer Äquivalentdosis von $1,5 \cdot 10^{-10} \text{ Sv}$

1.11 Messung 6: drei weitere Proben

Zunächst wurden, wie angegeben, die Uran- und die Thoriumprobe spektral aufgenommen. Die indentifizierten charakteristischen Linien sind im folgenden Diagramm eingetragen:

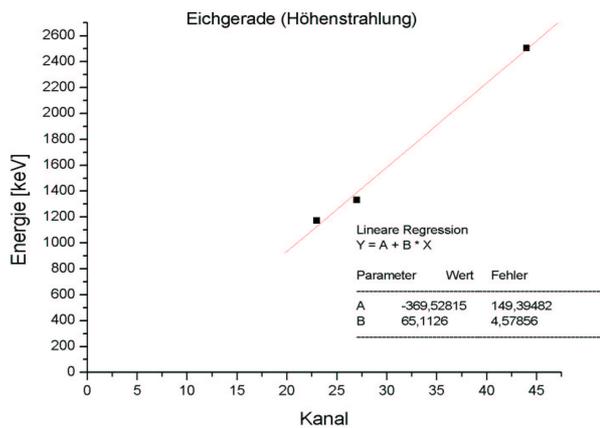


Anschliessend wurden noch ein Granitstein, ein Wecker sowie eine brennende Zigarette untersucht. Leider, wie im unten abgebildeten Diagramm sichtbar, waren die einzelnen Messungen nicht von einander zu unterscheiden und lagen sogar unterhalb der vorher gemessenen Untergrundstrahlung. Da sich der Verlauf der Graphen qualitativ nicht von dem der Untergrundstrahlung unterscheiden lässt, kann man keine Rückschlüsse auf die enthaltenen Elemente ziehen. Vermutlich ist die Aktivität der Proben so gering, dass man entweder wesentlich längere Zeit messen oder die Abschirmung verbessern müsste um brauchbare Werte zu erhalten.



1.12 Messung 7: Höhenstrahlung

Da bei dieser Messung wesentlich höhere Energien erfasst werden sollen, muss die Kanal-Energie-Eichung erneut durchgeführt werden. Nachdem die Spannung so eingestellt wurde, dass das Spektrum die in der Anleitung angegebenen Anforderungen erfüllt, wurden die Eichung analog zur Aufgabe 1 durchgeführt.



Damit erhält man als Formel für die Zuordnung von Energiewerte zu den einzelnen Kanälen:

$$\text{Energie [keV]} = 65 \cdot \text{Kanal} - 370$$

Quantenverteilung auf die einzelnen Bereiche:

Kanal	100–199	200–299	300–399	400–499	500–599	600–699	700–799	800–899	900–999
Counts	172	153	126	168	170	105	27	10	6

1.13 Aufgabe 6: Strahlenbelastung durch Höhenstrahlung

Mit Hilfe des Computer lässt sich durch Summation der einzelnen Energiewerte direkt die Gesamtenergie der registrierten Teilchen errechnen. Diese ergibt sich bei den Kanälen 100 – 1000 zu:

$$2,4 \cdot 10^{10} \text{ eV} = 3,84 \cdot 10^{-9} \text{ J}$$

Auf ein ganzes Jahr hochgerechnet ergibt sich eine Energie von:

$$3,84 \cdot 10^{-9} \text{ J} \cdot \frac{1 \text{ a}}{15 \text{ min}} = 1,35 \cdot 10^{-4} \text{ J/a}$$

Masse des Detektors (vgl. Aufgabe 2): 5,14 kg

$$\text{Energie, die pro kg und Jahr freigesetzt wird: } \frac{1,35 \cdot 10^{-4} \text{ J/a}}{5,14 \text{ kg}} = 2,62 \cdot 10^{-5} \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{a}}$$

$$\text{Strahlenbelastung durch Höhenstrahlung: } 0,0262 \frac{\text{mSv}}{\text{a}}$$

2 Fragen

1. **Wie ist die Einheit keV definiert? Drücken Sie die Energie des im Text erwähnten kosmischen Teilchens ($4 \cdot 10^{12}$ GeV) in Joule aus. Vergleichen Sie diese Energie mit Energien um Sie herum.**

1 eV (Elektronenvolt) ist eine in der Atom- und Kernphysik verwendete Größe, welche die Arbeit beschreibt, die geleistet wird, wenn eine Elementarladung eine Potentialdifferenz von 1 V durchläuft. Somit kann man 1 keV durch die Arbeit definieren, die geleistet wird, wenn eine Elementarladung die Potentialdifferenz von 1000 V durchläuft oder eben 1000 Elementarladungen die Potentialdifferenz von 1 V durchlaufen.

1 eV entspricht der Energie von $1,6022 \cdot 10^{-19}$ J.
Das kosmische Teilchen der Energie $4 \cdot 10^{12}$ GeV hat ca. 641 J.

– Der Brennwert des Erfrischungsgetränkes vor mir ist 177kJ, also nur um rund den Faktor 1000 größer als die Energie des einzelnen kosmischen Teilchens! Bei dem Erfrischungsgetränk bezieht sich die Energie allerdings auf 100ml und somit einer seeeeeeeehr großen Anzahl von Teilchen.

– Das einzelne kosmische Teilchen wäre energetisch in der Lage, eine Person der Masse 75 kg (auf der Erde) um 87 cm zu heben.

2. **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?**

Beim Eindringen der γ -Quanten in Materie treten Wechselwirkungen zwischen dem Material und den Quanten auf (sehr hohe Dichte des verwendeten Absorbermaterials). Dadurch verlieren die Quanten oft nur einen Teil ihrer Energie und es kann die ursprüngliche Energie der Quanten vom Detektor nicht mehr erfasst werden. Eine Eigenschaft des Detektors ist es, daß zwei γ -Quanten, die gleichzeitig einfallen, nicht separat, sondern als die Summe Ihrer Energien erfasst werden. Dadurch ergibt sich ebenfalls eine Streuung der Peaks. Weiter können die Elektronen, welche durch die γ -Quanten ausgelöst werden und andere Elektronen ionisieren, vorher mit Atomkernen wechselwirken und dadurch Energie verlieren, was wiederum zu einer Streuung der Peaks führt.

Unter dem Begriff Halbwertsbreite versteht man diejenige Abweichung der gemessenen γ -Quantenenergie von der tatsächlichen Energie der Quanten, bei der die halbe Peakhöhe erreicht ist.

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

Im ^{22}Na -Spektrum finden sich folgende Peaks:

- K-Linie von Iod (~ 215 keV)
- 511 keV-Linie: Entsteht durch Paarbildung, wobei nach einem single escape nur noch ein Elektron registriert wird.
- Photopeak des 1276 keV γ -Quants von ^{22}Na

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

Die Strahlung der Proben wird durch das Blei weitgehend abgeschirmt. Um abzuschirmen, muss das Blei mit der Strahlung wechselwirken. Dabei werden im Blei Elektronen ausgeschlagen und man erhält das charakteristische Röntgenspektrum von Blei (K-Linie, 77 keV).

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

Der statistische Fehler wächst langsamer an, als die Zählrate. Dies bedeutet, dass bei sehr hohen Zählraten der relative statistische Fehler immer kleiner wird. Beispiel:

relativer statistischer Fehler bei $n = 10000$: $100/10000 = 0,01$
relativer statistischer Fehler bei $n = 100$: $10/100 = 0,1$

6. **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.

Das Ansteigen der Aktivität ist in der raschen Bildung von Tochterkernen (mit sehr geringer Halbwertszeit) begründet, welche ebenfalls Strahlen und weiter zerfallen. In einem frisch gereinigten Präparat sind keine Tochterkerne vorhanden und die Aktivität ist deshalb im Vergleich gering. Wenn genauso viele Tochterkerne zerfallen, wie gebildet werden, bildet sich ein Gleichgewicht aus und die Aktivität bleibt nahezu konstant. Erst im Anschluss daran nimmt die Aktivität nach dem Zerfallsgesetz ab.

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

α -Teilchen können aufgrund ihres hohen Ionisierungsvermögens bereits durch ein Blatt Papier oder wenige Zentimeter Luft abgeschirmt werden.

Zur Abschirmung von β -Strahlung sind schon einige Zentimeter dicke Bleiplatten notwendig. Blei eignet sich aufgrund der hohen Dichte besonders gut als Absorber).

γ -Strahlung kann durch sehr dicke Bleiplatten lediglich abgeschwächt, jedoch nicht vollständig absorbiert werden. Den bestmöglichen Schutz vor γ -Strahlung bietet ein möglichst großer Abstand zur Strahlungsquelle (Abnahme der Intensität proportional zu $\frac{1}{r^2}$).

Die sehr hochenergetische kosmische Strahlung hat ein enormes Durchdringungsvermögen und kann nur in sehr großen Tiefen der Erde abgeschirmt werden.

8. Warum sieht man bei Th Linien bei 2615 keV, 2104 keV und 1593 keV?

^{208}Tl ist ein Folgekern in der Thorium Zerfallsreihe und besitzt als γ -Energie u.a. 2615 keV. Die beiden Peaks bei 2104 keV bzw. 1593 keV ergeben sich durch single- bzw. double escape, nachdem ein bei Paarbildung erzeugtes Positron wieder mit einem Elektron annihiliert.

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

Die auf den NaI treffenden γ -Quanten erzeugen dort durch Photoeffekt, Comptoneffekt und Paarbildung schnelle Elektronen. Diese erzeugen längs Ihrer Bahn durch Ionisation tausende langsame Elektronen. Durch diese wird das im NaI-Kristall eingelagerte Thallium angeregt und emittiert Lichtquanten. Diese lösen an der Photokathode Elektronen aus. Die Elektronen werden im Photomultiplier beschleunigt und lösen beim Auftreffen auf die Dynoden weitere Elektronen aus. Die dadurch entstehende Elektronenlawine liefert am Vorverstärker ein Spannungssignal, das im nachfolgenden Verstärker wiederum verstärkt wird. Im A/D-Wandler wird das Signal digitalisiert und je nach Stärke durch einen Vielkanalanalysator in einem der 1024 Kanäle registriert und auf dem Bildschirm angezeigt.

10. Ist Ihnen die Radioaktivität jetzt klarer geworden? Haben Sie Verbesserungsvorschläge zum Versuch?

Durch den Versuch RAD wurden alte Kenntnisse aus der Schule wieder aufgefrischt und teilweise vertieft. Durch das selbständige Arbeiten mit radioaktiven Substanzen konnten einige Kenntnisse aus der Theorie in die Praxis umgesetzt werden (z.B. Erklärung der auftretenden Phänomene).

Den Versuch an sich fanden wir in Ordnung, lediglich die Computerausstattung ließ einiges zu wünschen übrig: Softwareabstürze und ein durchgebrannter Monitor erhöhten die benötigte Zeit zur Durchführung des Versuches drastisch...