

P521 γ -Spektroskopie mit Szintillations- und Halbleiterdetektoren

P521.1 Versuchsziel

Das Ziel dieses Versuchs ist es, die γ -Spektroskopie mit Szintillations- und Ge-Halbleiterdetektoren kennenzulernen. Die charakteristischen Eigenschaften wie Energieauflösung und Nachweiswahrscheinlichkeit beider Detektortypen sind zu bestimmen und zu vergleichen. Als Anwendung des Ge-Detektors ist eine beliebige Probe (z.B. Bodenprobe) auf Spuren von Radioaktivität zu untersuchen.

P521.2 Notwendige Vorkenntnisse

- Radioaktiver Zerfall, Quellen radioaktiver Strahlung, natürliche Radioaktivität, Zerfallsreihen, γ -Strahlung.
- Wechselwirkung von γ -Quanten mit Materie: Photoeffekt, Comptoneffekt, Paarbildung, Abhängigkeit des Wirkungsquerschnittes dieser Effekte von E_γ sowie von der Ordnungszahl Z des Absorbermaterials.
- Szintillationsspektrometer, Halbleiterdetektor, Aufbau und Wirkungsweise eines Sekundärelektronenvervielfachers, Mechanismus der Ladungssammlung im Halbleiterkristall, Bändermodell.
- Impulshöhenspektrum, Funktionsweise eines Vielkanalanalysators, Totalenergiepeak (Photopeak), Comptonuntergrund, Comptonkante, Rückstreuppeak, Escapepeaks, Peak-to-Total-Verhältnis.
- Ursachen der Breite einer Gammalinie im Spektrum eines Szintillations- bzw. Halbleiterdetektors, Energieauflösung, Unterschied zwischen beiden Detektortypen und daraus resultierende Konsequenzen für die Energieauflösungen.
- Nachweiswahrscheinlichkeit (Efficiency) als Funktion der Energie E_γ .
- Termschemata und γ -Energien der verwendeten Quellen (bei ^{152}Eu ohne Einzelheiten).

Bitte bringen Sie mit: Einen USB-Stick zum Abspeichern der Daten und ca. 1 kg Erde in einem dichten Plastikbeutel (oder eine andere Ihnen interessant erscheinende Probe) (Versuchsteil 2.8).

P521.3 Literatur

Hier eine Auswahl an Literatur. I.a. reicht das Entleihen einiger weniger Bücher aus:

- STOLZ, WERNER
Messung ionisierender Strahlung
LBS-Nr.: Phys Gc 22, Taschentext, Physik-Verlag
- ALLKOFER, OTTO
Teilchendetektoren
LBS-Nr.: Phys Gc 18, Verlag: Thiemig
- RIEZLER, WOLFGANG U. KOPITZKI, KONRAD
Kernphysikalisches Praktikum
LBS-Nr.: Phys Gc 1, Teubner-Verlag
besonders geeignet für Szintillationsspektrometer
- KLEINKNECHT, KONRAD
Detektoren für Teilchenstrahlung
LBS-Nr.: Phys Gc 22, Teubner-Verlag
- G. SCHATZ / A. WEIDINGER
Nukleare Festkörperphysik
LBS-Nr.: Phys Gc 26, Verlag: Teubner
- LEO, WILLIAM
Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments
LBS-Nr.: Phys Gc 24, Springer-Verlag
- MELISSINOS, ADRIAN
Experiments in Modern Physics
LBS-Nr.: Phys Fb 2, Verlag: Acad. Pr.
- RANFT, GIESELA + J
Elementarteilchen Teil 2
LBS-Nr.: Phys Ia 9, Teubner-Verlag
- GRUPEN, CLAUS
Teilchendetektoren
LBS-Nr.: Phys Gc 31, Verlag: BI Wissenschaftsverlag
- Lehrbücher der Kernphysik

P521.4 Aufgaben

0. Vorbereitung mit dem Assistenten

- 0-1 Einstellen der Hochspannung.
- 0-2 Umgang mit dem Datenaufnahmeprogramm MCDWIN.
- 0-3 Zeitplan für die Langzeitmessungen.

1. Szintillationsspektrometer

- 1-1 Beobachtung des Detektorsignals direkt am Ausgang des Vorverstärkers des Photomultipliers sowie des Hauptverstärkers mit dem Oszilloskop. Protokollierung der Signalform, Signaldauer und Amplitude.
- 1-2 Aufnahme der Gammaspektren der ^{60}Co -, ^{137}Cs - und ^{152}Eu -Quellen sowie eines Untergrundspektrums.
- 1-3 Energiekalibrierung mit diesen Spektren.
- 1-4 Bestimmung der Halbwertsbreite (FWHM) der Linien im ^{60}Co - und ^{137}Cs -Spektrum sowie der gut getrennten Linien im ^{152}Eu -Spektrum.
- 1-5 Bestimmung des Peak-to-Total-Verhältnisses für die 662 keV-Linie im Spektrum der ^{137}Cs -Quelle und für die mittlere Energie der Linien der ^{60}Co -Quelle.
- 1-6 Bestimmung der absoluten Peakeffizienz des Detektors mit der ^{137}Cs -Quelle bekannter Aktivität . [Wieviel Prozent aller in den Detektor eintretenden Gammaquanten werden im Photopeak registriert?]

2. Ge-Halbleiterdetektor

- 2-1 Beobachtung des Detektorsignals direkt am Ausgang des Vorverstärkers sowie des Hauptverstärkers mit dem Oszilloskop. Protokollierung der Signalform, Signaldauer und Amplitude.
- 2-2 Aufnahme der Gammaspektren der ^{60}Co -, ^{137}Cs und ^{152}Eu -Quellen sowie eines Untergrundspektrums mit dem Ge-Detektor.
- 2-3 Energiekalibrierung mit diesen Spektren.
- 2-4 Bestimmung der Halbwertsbreite (FWHM) der Linien im ^{60}Co - und ^{137}Cs -Spektrum sowie von mehreren starken Linien im ^{152}Eu -Spektrum.
- 2-5 Bestimmung des Peak-to-Total-Verhältnisses für ^{137}Cs und ^{60}Co .

- 2-6 Bestimmung der absoluten Peakeffizienz des Detektors.
- 2-7 Bestimmung der Intensitäten von mindestens 7 starken Linien im Spektrum der ^{152}Eu -Quelle zur Ermittlung der relativen Nachweiswahrscheinlichkeit des Ge-Detektors als Funktion der Gammaenergie.
- 2-8 Anwendung des Ge-Detektors zur Messung der Radioaktivität einer beliebigen Probe (z.B. Bodenprobe):
 - 2-8-1 Langzeitmessung (Messzeit mind. 12 Std.) der Probe in der Bleiabschirmung.
 - 2-8-2 Ebenso lange Untergrundmessung in der Bleiabschirmung ohne Probe.
 - 2-8-3 Untergrundkorrektur des Spektrums und Identifizierung der γ -Linien.
 - 2-8-4 Zuordnung der γ -Linien zu Isotopen und Zerfallsreihen.

Alle Messungen der radioaktiven Proben sollten am 1. Versuchstag durchgeführt werden. Die Auswertung erfolgt mit einem geeigneten Programm zuhause (die Analysefunktionen des Programms MCDWIN stehen hier nicht zur Verfügung).

Hinweis: Der Schwerpunkt dieses Versuchs liegt auf der Auswertung der aufgenommenen Spektren.

P521.5 Durchführung und Analyse

P521.5.1 Datenaufnahme

Vor Aufzeichnung der Gammaspektren ist an dem jeweils verwendeten Detektor die Hochspannung zusammen mit dem Assistenten anzulegen.

ACHTUNG: Die Datenaufnahme erst ca. 30 min nach dem Anlegen der Hochspannung starten!

Nach dem Anlegen der Hochspannung und dem Platzieren einer Quelle vor dem entsprechenden Detektor sind die Ausgangssignale direkt am Detektor sowie am Ausgang des Hauptverstärkers mit dem Oszilloskop zu beobachten und die Signalform, Signaldauer und Amplitude zu protokollieren (siehe 1-1 und 2-1).

Es empfiehlt sich, die Verstärkung des Hauptverstärkers so zu wählen, dass die 8192 Kanäle des Vielkanalanalysators einen Energiebereich von ca. 1550 keV umfassen. Als Anhaltspunkt kann hierfür die höherenergetische Linie der ^{60}Co -Quelle (1332 keV) bzw. der ^{152}Eu -Quelle (1408 keV) dienen. Es bietet sich deshalb an, mit einer dieser Quellen die Datenaufnahme zu beginnen. Nachdem die Verstärkung festgelegt ist, sind die weiteren Spektren mit genau dieser Einstellung aufzunehmen.

Die Messungen (siehe 1-2 und 2-2) sind ohne zusätzliche Bleiabschirmung durchzuführen, um die Spektren möglichst vom überflüssigen Untergrund der Rückstreustrahlung freizuhalten. Bei der Aufzeichnung der Spektren ist bei beiden Detektoren darauf zu achten, dass die Zählrate

(kann im MCDWIN-Programm kontrolliert werden) nicht größer als 1-2 kHz ist, da ansonsten die Energiekalibrierung ungenau wird.

Die Dauer der Messung (min. 600 s) kann im RANGE, PRESET des MCDWIN-Programms vorgegeben werden. Zu jedem Spektrum ist der Abstand Quelle-Detektor und die Messdauer zu protokollieren (vor allem für die Ermittlung der absoluten Photopeakeffizienz beider Detektoren aus dem ^{137}Cs -Spektrum ist diese Information notwendig).

Bei der Langzeitmessung der Bodenprobe (siehe 2-8) ist zur Reduktion des Untergrundes die Bleiabschirmung zu verwenden. Die Messdauer für die Probe sowie den Untergrund sollte nicht kürzer als je 12 Std. sein.

P521.5.2 Auswertung der Spektren

Vor Betrachtung der einzelnen Gamma-Spektren sind diese durch Abzug der Untergrundspektren zu bereinigen. Achten Sie bei der Auswertung auf eine sinnvolle Berücksichtigung von Untergrundbeiträgen unter den jeweils untersuchten Signalen!

Energiekalibrierung

Zur Energiekalibrierung reicht es für den NaJ(Tl)-Detektor aus, neben den Linien der ^{60}Co - und ^{137}Cs -Quellen nur die stärksten, gut getrennten Linien der ^{152}Eu -Quelle heranzuziehen. Im Protokoll ist der lineare Zusammenhang zwischen Energie und Kanalzahl zusammen mit den ermittelten Linienpositionen für beide Detektoren graphisch darzustellen.

Für die Energiekalibrierung im Falle des Ge-Detektors können mehr Linien des ^{152}Eu -Spektrums verwendet werden. Eine Zuordnung der Linien in diesem komplizierten Spektrum ist anhand der Intensitäten möglich (vgl. Tabelle auf Seite 10). Zur Energiekalibrierung sind mindestens 7 Linien dieses Spektrums heranzuziehen.

Bestimmung der Halbwertsbreite

Die Halbwertsbreiten (FWHM) der Linien im ^{60}Co - und ^{137}Cs -Spektrum sowie von mehreren starken, gut getrennten Linien im ^{152}Eu -Spektrum sollen bestimmt und ihre Energie- und Detektorabhängigkeit kommentiert werden.

Intrinsische Halbwertsbreite des Ge-Detektors Die Halbwertsbreite ΔE (und damit die Energieauflösung) eines Ge-Detektors setzt sich aus zwei Anteilen zusammen:

$$\Delta E(E_\gamma) = \sqrt{(\Delta E_d(E_\gamma))^2 + (\Delta E_e)^2}$$

Der intrinsische Anteil der Halbwertsbreite (ΔE_d) rührt vom statistischen Prozess der Ladungssammlung im Ge-Kristall her. Deshalb besteht bei diesem Anteil eine Abhängigkeit von der registrierten Gammaenergie. Eine theoretische Analyse ergibt den folgenden Zusammenhang:

$$\Delta E_d(E_\gamma) = \text{Const.} \cdot \sqrt{E_\gamma}$$

Durch die Messung der Halbwertsbreiten mehrerer Eu-Linien (mindestens 7) ist der Zusammenhang zwischen ΔE_d und E_γ zu überprüfen, indem das Quadrat der Halbwertsbreite gegen E_γ aufgetragen wird. Der elektronische Anteil ΔE_e ist dabei ebenfalls zu bestimmen.

Peak-to-Total-Verhältnis

Das Verhältnis der im Photopeak registrierten Gammaquanten eines Übergangs zur Gesamtzahl aller im Detektor registrierten Gammaquanten dieses Übergangs ist ein Maß für die Nachweisgüte (Ansprechfunktion) des Detektors. Dieses sog. Peak-to-Total-Verhältnis ist eine Funktion der Gammaenergie und soll in 1-5 und 2-6 für die beiden Detektoren bestimmt werden. Im Fall der ^{137}Cs -Quelle wird dieses Verhältnis bei der Energie 662 keV ermittelt; beim ^{60}Co für die mittlere Energie der beiden Linien (~ 1250 keV). Bei der Bestimmung der Gesamtzählrate im Spektrum ist der Rückstreuanteil im Niederenergiebereich zu berücksichtigen.

Absolute Peakeffizienz

Die absolute Peakeffizienz gibt an, welcher Prozentsatz aller in den Detektor eintretenden Gammaquanten im Photopeak nachgewiesen wird. Zur Bestimmung dieser Größe ist es notwendig, die absolute Aktivität einer Gammaquelle zu kennen. In den Versuchsteilen 1-6 und 2-6 ist die absolute Peakeffizienz des NaJ- und des Ge-Detektors mit der ^{137}Cs -Quelle zu bestimmen. Die hierzu notwendigen Angaben:

- β -Aktivität der ^{137}Cs -Quelle: 25 μCi , April 1985
- Durchmesser des NaJ-Kristalls: 76,2 mm bzw. 48 mm
- Durchmesser des Ge-Kristalls: 55,7 mm

Relative Effizienz als Funktion der Gammaenergie

Die Abhängigkeit der Effizienz des Ge-Detektors von der Gammaenergie ist anhand der relativen Intensitäten mehrerer ^{152}Eu -Linien zu ermitteln. Üblicherweise werden die relativen Intensitäten der Gammalinien dieses Spektrums wie folgt normiert:

$$\text{Int.}(1408 \text{ keV}) = 1000.$$

Anhand der tatsächlichen relativen Intensitäten dieser Linien (siehe Tabelle P521.6.3) kann die relative Effizienz des Ge-Detektors ermittelt und graphisch dargestellt werden.

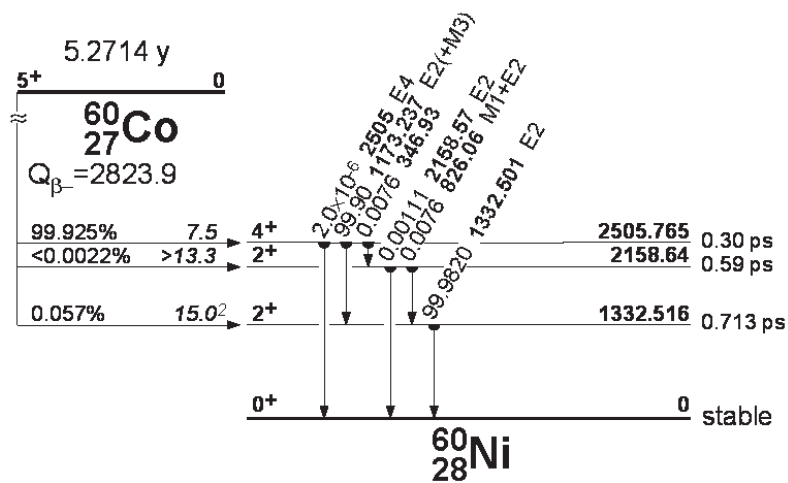
Nachweis der Radioaktivität in einer Probe

Als Anwendung des Ge-Detektors ist die Radioaktivität einer mitgebrachten Probe oder einer vorhandenen Bodenprobe zu messen. Beide Spektren (Proben- und Untergrundspektrum) sind sinnvoll zu normieren und anschließend ist das Differenzspektrum zu erzeugen. Die Energien der im Differenzspektrum vorliegenden Gammalinien sind zu bestimmen. Anhand dieser Linien ist dann eine Identifikation der radioaktiven Isotope bzw. Zerfallsreihen vorzunehmen. Insbesondere ist die Belastung der Probe mit dem ausschließlich zivilisatorisch (wieso?) bedingten Isotop

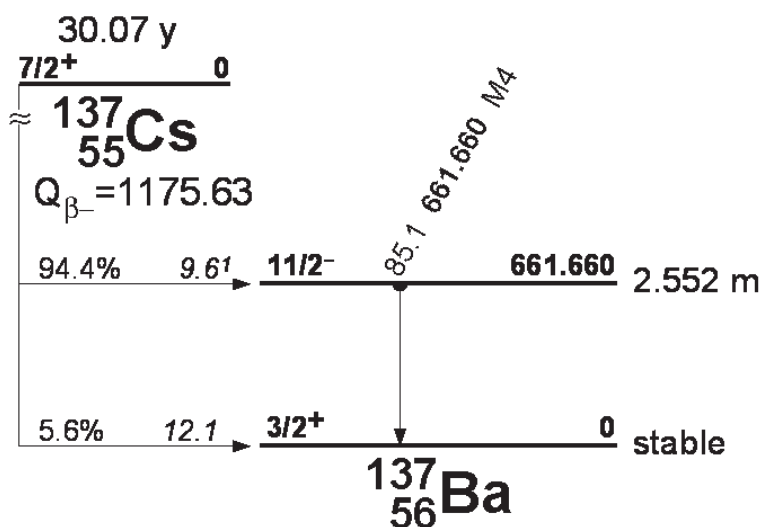
^{137}Cs qualitativ zu ermitteln. Für den Fall, dass im Differenzspektrum keine bzw. nur wenige Gammalinien auftreten, ist zusätzlich das Untergrundspektrum auf die Isotope der natürlichen Zerfallsreihen zu untersuchen.

P521.6 Anhang

P521.6.1 Termschema ^{60}Co

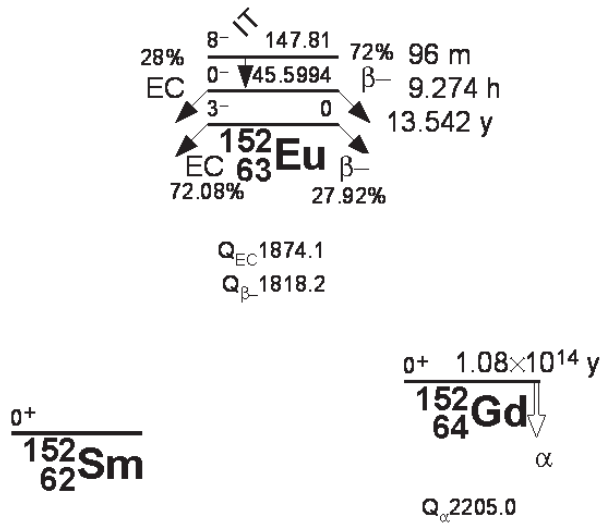


P521.6.2 Termschema ^{137}Cs



P521.6.3 Termschema ^{152}Eu

Übersicht



Gammalinien ^{152}Eu

Energie / keV	Rel. Int.	Energie / keV	Rel. Int.	Energie / keV	Rel. Int.
121,7825	1362,0	488,661	19,5	867,388	199,0
125,7	0,57	493,503	1,49	901,186	4,4
148,01	1,9	496,385	0,44	906,016	0,72
172,1	0,02	503,387	7,3	919,401	20,9
192,596	0,33	520,230	2,57	926,324	12,7
202,88	0,18	523,132	0,71	930,584	3,5
207,71	0,21	526,886	0,63	937,0	0,15
209,49	0,21	534,248	2,06	958,633	1,1
212,57	0,94	538,292	0,20	964,131	693,4
237,28	0,45	556,562	0,91	968,0	0,13
239,4	0,20	558,1	0,19	974,090	0,69
244,6989	359,0	561,2	0,05	990,200	1,48
251,628	3,0	564,021	23,6	1001,1	0,19
269,86	0,39	566,421	6,2	1005,279	31,0
271,135	3,5	571,826	0,23	1084,0	11,7
275,452	1,61	586,294	22,0	1085,914	475,0
285,98	0,53	616,054	0,43	1089,700	82,
295,939	21,1	644,376	0,28	1109,180	08,8
315,173	02,43	656,484	6,9	1112,116	649,0
316,2	0,10	664,777	0,9	1139,0	0,06
320,03	0,08	671,151	1,1	1170,973	1,71
324,789	03,6	674,678	8,91	1206,09	0,72
329,433	5,9	678,578	22,1	1212,950	67,0
330,542	0,36	683,32	0,15	1249,946	8,8
340,48	1,3	686,609	0,92	1261,350	1,57
344,281	1275,0	688,678	40,0	1292,784	4,9
351,666	00,43	703,233	0,25	1299,124	78,
357,259	0,23	712,847	4,6	1348,09	0,81
367,789	40,0	719,353	15,6	1363,78	1,17
379,36	0,04	728,031	0,54	1390,4	0,23
385,52	0,24	735,40	0,28	1408,011	1000,0
387,90	0,14	756,121	0,26	1457,628	23,6
391,32	0,06	764,905	8,4	1528,115	12,7
406,74	0,04	768,947	4,3	1605,62	0,36
411,115	107,0	778,903	621,6	1608,355	0,24
416,052	5,3	794,780	1,18	1635,2	0,007
423,449	0,13	805,723	0,61	1647,310	0,29
440,856	0,52	810,459	15,2	1769,093	0,42
443,976	148,0	839,365	0,79		
482,303	1,3	841,586	7,8		

Viel Erfolg bei der Durchführung!

Stand: September 2013