

Anleitung K2: Form von Gammaspektren mit dem Ge Detektor

Vortrag K2a: ^{137}Cs

Vortrag K2b: ^{22}Na , ^{226}Ra

Versuch: beide

(gilt i. w. auch für die anderen Kernphysikversuche)

Wechselwirkungen von γ -Quanten mit Materie

Achtung: Aus der Schule kennen die Studenten meist nur den äußeren Photoeffekt. (Auslösung von locker gebundenen Elektronen aus Metallen (Elektronengas) mit Licht oder UV-Strahlung wie z.B. aus der Fotokathode beim NaJ-Detektor),

Hier handelt es sich um den **atomaren Photoeffekt** von fest gebundenen Elektronen hauptsächlich aus der K-Schale der Atome.

Das Gamma-Quant wird vernichtet und überträgt Impuls und Energie auf ein Hüllenelektron eines Atoms: $E_\gamma = \text{Energie des Gamma-Quants}$, $E_B = \text{Bindungsenergie des Elektrons im Atom}$. Wegen der Gültigkeit von Impuls- und Energieerhaltungssatz kann das gestoßene Elektron nicht den gesamten Impuls des Gamma-Quants aufnehmen, der Rest geht auf das verbleibende Ion über. Der Photoeffekt ist deshalb nur an gebundenen Elektronen möglich. Was ist mit der fehlenden Bindungsenergie? Studenten finden gute Erklärung bei

<http://www-ekp.physik.uni-karlsruhe.de/~simonis/praktikum/p2/p2-versuchsanleitungen/Gammaspektroskopie-Hilfe.pdf>

“Kopie: Die Quantenenergie wird abzüglich der Ablösearbeit ganz auf ein Elektron aus der Atomhülle übertragen. Nach dem Prozess ist das γ -Quant verschwunden. Da das resultierende Elektron in jeder Richtung davonfliegen kann, wäre ohne weiteren Partner bei diesem Prozess der Impulssatz verletzt. Dieser Partner ist der Kern, der 'Rückstoß' aufnimmt. Er nimmt umso wahrscheinlicher am Geschehen teil, je fester seine Ankopplung ist. Deshalb erfolgt der Photoeffekt hauptsächlich an den inneren Schalen(K-, L-) von Atomen mit großer Kernladungszahl, denn dort ist die Bindungsenergie groß. Es erhebt sich die Frage, warum denn trotz des Fehlens der Bindungsenergie, die von der Größenordnung 100 keV sein kann, die 'Photolinie' im Elektronen-Energiespektrum dennoch an der richtigen Stelle, nämlich bei der Energie des γ -Quants, liegt. Die Antwort lautet: Ein 'Loch' in einer inneren Atomschale existiert nur extrem kurze Zeit, der energetisch günstigere Zustand wird durch ein äußeres Hüllenelektron besetzt. Das beim Auffüllen emittierte Quant hat eine viel kleinere Energie als das ursprüngliche und wird deshalb noch viel wahrscheinlicher in der Materie einen Photo- oder Comptonprozess ausführen. Das daraus resultierende Elektron (und weitere aus weiteren Folgeprozessen) tritt innerhalb einer Zeit nach dem ersten auf, die sehr kurz im Vergleich zur Lebensdauer der zum Leuchten angeregten Atome ist. Deshalb scheint die Energieabgabe des ursprünglichen γ -Quants in einem Prozess zu erfolgen.”

Comptoneffekt

Ansatz: relativistische Rechnung und vektorieller Impulssatz

Herleitung

<http://qudev.phys.ethz.ch/content/science/BuchPhysikIV/PhysikIVch4.html>

Der Comptoneffekt ist für die Schüler wohl der überzeugendste Effekt für den Teilchencharakter des Photons.

Es ist ein elastischer Stoß, da kein Teil der kinetischen Energie in andere Energieformen übergeht. Historisches Exp. von Compton als Arbeitsblatt für Schüler s. Ordner.

- Wie entsteht der Rückstreupeak? Bei welcher Energie liegt er?
- Paarerzeugung, Vernichtungsstrahlung
- Was unterscheidet die Totalabsorptionslinie von der Photolinie?
- Fotolinie nach einem Fotoeffekt plus Detektion der Bindungsenergie, Totalabsorption kann aber auch noch auf andere Art eintreten, (z.B. Comptoneffekt plus Fotoeffekt des gestreuten Quants...)
- In den Spektren können weitere Linien auftreten: Untergrundlinien, Summenpeak, 511 keV-Linie, Single- und Double-Escape-Peak, Röntgenlinien. Woher kommen diese Linien?
- Wie funktioniert ein Ge-Detektor, bzw. NaJ-Detektor?
- Was versteht man unter der Energieauflösung des Detektors. Warum ist sie hier so gut?
- Was versteht man unter dem Ansprechvermögen (Efficiency) eines Detektors?

Literatur:

- Knoll Radiation Detection and Measurement
Zerfallsschemata der Präparate (Knoll S. 17)
(Kap. 2. III Interaction of γ -rays A Interaction Mechanisms S. 62-67
10. I, II, III S. 306-326
12. IV A1 und D 433-438 und 451-453)
- Gute Einführung
https://www.hsg-kl.de/faecher/ph/Radioaktivitaet_strahlenschutz2007.pdf
- <http://expweb.phys.ethz.ch/10/06/06/bes.pdf>
- Richtige Erklärung Comptoneffekt bei
<http://qudev.phys.ethz.ch/content/science/BuchPhysikIV/PhysikIVch4.html>
- Gute Erklärung Photoeffekt und NaJ-Detektor
<http://www-ekp.physik.uni-karlsruhe.de/~simonis/praktikum/p2/p2-versuchsanleitungen/Gammaspektroskopie-Hilfe.pdf>

- Umsetzungen für Schüler
https://web-docs.gsi.de/~wolle/Schuelerlabor/ANLEITUNG/Anleitung_5.pdf (Schülerlabor)
 und
<http://www.grossberger.net/atomphysik/Gamma/gamma1.html>
- (gute Erklärung Rückstreu Spitze)
<http://www.grossberger.net/atomphysik/Gamma/gamma2.htm>
- Gute Einführung, auch Detektoren
https://ikp.uni-koeln.de/sites/ikp/data/praktikum/B3.2_gamma_de.pdf

Antestat:

- WW von Gammastrahlung mit Materie
 - a) Fotoeffekt an fest gebundenen Elektronen
 Liegt der Fotopeak bei der Gammaenergie oder um die Bindungsenergie verschoben?
 Diese ist nämlich nicht zu vernachlässigen.
 - b) Comptoneffekt an quasifreien Elektronen der Atome
 Ansatz zur Berechnung!
 Maximaler Energieübertrag auf das Elektron bei Rückwärtsstreuung des Photons
 ergibt die Comptonkante.
 Wie entsteht der Rückstreupeak?
 - c) Paarerzeugung und Vernichtungsstrahlung, Escapelinien.
- Gesamtsabs-peak kommt zustande durch Energie des Fotoelektrons plus Fotoeffekt der Röntgenquanten oder Mehrfachprozesse wie Energie eines Comptonelektrons plus Fotoeffekt des gestreuten Photons. . .
- Funktionsweise des Detektors, Energieauflösung, Ansprechvermögen

K2 Form von Gammaspektren mit dem Ge Detektor

Vorbereitung:

- Wechselwirkungen von γ -Quanten mit Materie:
- Atomarer Photo-Effekt, Comptoneffekt (Ansatz zur Berechnung) und Paarbildung.
- Wirkungsquerschnitte dieser Prozesse (Energie- und Z-Abhängigkeit).
- Beschreiben Sie den Einfluss der Comptonstreuung auf das Energiespektrum beim Nachweis monoenergetischer γ -Strahlung im Ge-Detektor. Wie entsteht das Kontinuum?
- Wieso bricht das Kontinuum bei einer bestimmten Energie ab (Comptonkante)?

- Wie entsteht der Rückstreupeak? Bei welcher Energie liegt er?
- Was unterscheidet die Totalabsorptionslinie von der Photolinie?
- In den Spektren können weitere Linien auftreten:
- Untergrundlinien, Summenpeak, 511 keV-Linie, Single- und Double-Escape-Peak,
- Röntgenlinien. Woher kommen diese Linien?
- Was versteht man unter der Energieauflösung des Detektors. Warum ist sie hier so gut?
- Was versteht man unter dem Ansprechvermögen (Efficiency) eines Detektors?

Experiment:

- Stellen Sie die Verstärkung so ein, dass Sie einen Energiebereich von 2,6 MeV aufnehmen können und machen Sie eine Energieeichung mit ^{57}Co und ^{60}Co .
- Nehmen Sie ein Untergrundspektrum auf. Bestimmen Sie die Energien einiger starker Linien und klären Sie die Herkunft.
- Verwenden Sie nun als γ -Quelle ^{137}Cs . Zu sehen sind: Das Compton-Kontinuum und die Totalabsorptionslinie. Energien bestimmen und mit theoretischen Werten vergleichen. Welche Halbwertsbreite hat die 662 keV-Linie? (Speichern Sie dieses Spektrum für den späteren Vergleich mit dem NaJ-Detektor)
- Vergleichen Sie mit und ohne Blei hinter der Quelle ?? 1. Die Intensität der Röntgenlinien und des Rückstreupeaks 2. Das Intensitätsverhältnis von Compton-Kontinuum zu γ -Linie.
- Nehmen Sie das Spektrum von ^{60}Co auf. Welche Intensitäten besitzen danach die γ -Übergänge dieser Quelle? Stimmt das mit Ihren Erwartungen auf Grund des Zerfallschemas überein?
- Vergleichen Sie die Intensität des Summenpeaks bei kleiner und großer Entfernung zwischen Quelle und Detektor.
- Verwenden Sie nun ^{226}Ra und suchen Sie nach escape-peaks. (Speichern Sie ein Spektrum mit guter Statistik für Ihren Vortrag) Bestimmen Sie die Intensitäten der 10 stärksten Linien.
- Wechseln Sie zur Quelle ^{22}Na . Diese zerfällt durch Aussendung von Positronen. Welche 2 Linien müssen Sie also auf jeden Fall sehen? (s. Termschema) Verhältnis der Intensitäten 511 zu 1274 keV

Auswertung:

- Tabellieren Sie Ihre Ergebnisse in sinnvoller Weise.

- Gemessene und theoretische Energien von Linien und Comptonkanten.
- Beantworten Sie die zum Experiment gestellten Fragen.
- Mit Hilfe der gemessenen Intensitäten des Ra-Spektrums und Tabelle 12-3 (Knoll S. 453) können Sie das energieabhängige relative Ansprechvermögen des verwendeten Detektors bestimmen.
- Korrigieren Sie damit. die gemessenen Intensitäten des Linienspektrums des ^{60}Co - und ^{22}Na -Spektrums. Erfüllen die Intensitätsverhältnisse der beiden Übergänge nun Ihre Erwartungen?

Vortrag K2a

- Funktionsweise eines Ge-Detektors
- Experimentaufbau, VV-Signale und HV-Signale bei ^{137}Cs am Oszilloskop zeigen
- Kurze Aufnahme des "monoenergetischen" Spektrums, Erläuterung
- Die WW-Prozesse
- **Atomarer Fotoeffekt** und Bindungsenergie, warum meist K-Schale
- **Comptoneffekt**
- Formel für die Energie von gestreutem Quant und Elektron beim Comptoneffekt, (Ansatz für die Herleitung mit vektoriellm Impulssatz)
- Kante und Rückstreupeak
- Wirkungsquerschnitte der beiden WW
- Theoretische Form des Spektrums
- **Energieeichung**
- Aufnahme des Spektrums von Cs mit guter Statistik,
- Gesamtabsorptionslinie, Comptonkante, Rückstreupeak identifizieren
- Energieauflösung (kurze Theorie), Abweichung von der theoretischen Form auf Grund der endlichen Energieauflösung des Detektors.

Vortrag K2b

- Paarerzeugung, Wirkungsquerschnitt für Paarerzeugung,
- Vernichtungsstrahlung, (Impuls- und Energiesatz)
- Kurvenverläufe aller Wirkungsquerschnitte zusammenfassend erläutern.

- ^{60}Co -Spektrum: Die Energien von Comptonkanten, Rückstreupeaks, Gesamtabs.linien,
- Summenpeak bestimmen
- Intensitäten der Linien, Hinweis auf Ansprechvermögen (woher kommt dies? Stichwort Wirkungsquerschnitte)
- Welche Energien erwartet man bei der Paarbildung.
- Warum ist der Paareffekt hier nicht sichtbar?
- ^{22}Na Vernichtungsstrahlung ?
- Spektrum von ^{226}Ra zeigen, Konserve mit guter Statistik aus dem Praktikum, Escape-Linien