O 20 Radiometrie

Aufgaben

1 Messen Sie die Zählrate in Abhängigkeit von der Dicke einer absorbierenden Bleischicht mit einem Geiger-Müller-Zählrohr (Arbeitsspannung 500 V)! Bestimmen Sie unter Verwendung einer einfach-logarithmischen graphischen Darstellung den Schwächungskoeffizienten und daraus den Massenschwächungskoeffizienten sowie die Halbwertsdicke für Blei!

2 Ermitteln Sie für einen Eisenabsorber den Schwächungskoeffizienten, den Massenschwächungskoeffizienten und die Halbwertsdicke! Vergleichen Sie die Halbwertsdicke mit derjenigen von Blei!

3 Ermitteln Sie eine Häufigkeitsverteilung für die Impulse des Nulleffektes, und vergleichen Sie die experimentellen Häufigkeiten mit den auf der Grundlage einer Poisson-Verteilung berechneten Werten anhand einer graphischen Darstellung für 200 Messungen! Führen Sie außerdem einen χ^2-Test durch!

Zusatzaufgaben: Wiederholen Sie die statistische Analyse des Nulleffektes für 1000 Messungen, und vergleichen Sie die Kennwerte des Datensatzes mit denjenigen für 200 Messungen. Ermitteln Sie die Halbwertszeit eines kurzlebigen Nuklids! Führen Sie weitere Absorptionsmessungen mit anderen Strahlungsquellen bzw. anderen Absorbermaterialien durch.

Literatur

Physikalisches Praktikum, 12. Auflage, Hrsg. D. Geschke, Radiometrie, 7.0, 7.1, 7.2
Radioaktivität, W. Stolz, B.G. Teubner Verlagsgesellschaft
Grundwissen Experimentalphysik, H. Pfeifer, H. Schmiedel, B.G. Teubner Verlagsgesellschaft
Strahlenschutz (http://www.uni-leipzig.de/~prakphys/aprak/PDF/O20-Strahlenschutz.PDF)

Zubehör

Zählrohranordnung mit Strahlungsmessgerät, Zählrohr mit Interface und PC, radioaktive Präparate (Co-60- bzw. Cs-137-Präparat als γ-Strahler), Nuklid-Generator, Absorberplatten, Dosimeter

Bemerkungen

Informationen zu den konkreten Versuchsbedingungen und zu den Strahlenschutzbestimmungen liegen am Arbeitsplatz aus! Die Messwerte bei *Aufgabe 3* werden mit Hilfe eines computergestützten Messplatzes aufgenommen und ausgewertet. Während des Versuches sind Kontrollmessungen mit einem Dosimeter zur Äquivalentdosisleistung am Arbeitsplatz durchzuführen.

Schwerpunkte zur Vorbereitung

- Radioaktive Strahlung, Arten, Eigenschaften, Zerfallsgesetz
- Wechselwirkung zwischen radioaktiver Strahlung und Materie
  (Wechselwirkungsprozesse Photoeffekt, Compton-Effekt, Paarbildung)
- Schwächungsgesetz, Schwächungskoeffizient, Halbwertsdicke
- Strahlungsdetektoren, Arten, Aufbau und Wirkungsweise
- Charakteristik eines Geiger-Müller-Zählrohres
- Häufigkeitsverteilung, Poisson-Verteilung, χ^2-Test
- Einheiten (Aktivität, Strahlungsdosis, Äqivalentdosisleistung)
- Strahlenschutz

Hinweise zur statistischen Auswertung

Bei der *3. Aufgabe* ist für n=200 und ggf. n=1000 (n Anzahl der Messungen) für ein stets gleichgroßes Zeitintervall von 6 s die Anzahl z der Impulse des Nulleffektes zu messen (z=0,1,2,...). Die Verteilung der Messwerte liefert eine Klasseneinteilung, indem zunächst alle gleichgroßen Werte z=z_k der k-ten Klasse zugeordnet werden (k=1,...,r). Zum Beispiel gehören alle Messungen mit z=0 zur ersten Klasse (k=1). Zum Vergleich mit einer Wahrscheinlichkeitsverteilung der diskreten Zufallsgrößen z der Form

$$p(z,\lambda_\mathrm{p}) = \frac{\lambda_p^z}{z!}\ \mathrm{e}^{-\lambda_\mathrm{p}} \quad \text{(Poisson-Verteilung)} \qquad (1)$$

werden mit dieser Gleichung die theoretischen Wahrscheinlichkeiten $p(z_k\ ,\ \lambda_\mathrm{P})$ für das Auftreten von z_k Impulsen bei je einer Messung berechnet. Als Schätzwert für den Parameter λ_P wird das arithmetische Mittel μ (λ_P=μ) aus den Ergebnissen der 200 Messungen verwendet, und als Kenngröße für die mittlere zufällige Abweichung δ gilt $\delta = \sqrt{m}$, wobei m die Zahl der Impulse in einer festgelegten Messzeit Δt ist (m /Δt =N , Impulsrate oder Impulsdichte).
Die Berechnung der $p(z_k\ ,\ \lambda_\mathrm{P})$ erfolgt mittels Computer am Arbeitsplatz. Für eine Klasse ist exemplarisch eine manuelle Berechnung vorzunehmen. Die theoretisch erwarteten absoluten Häufigkeiten je Klasse ergeben sich zu h_{ek}= n $p(z_k,\ \lambda_\mathrm{P})$. Zur Durchführung des χ^2-Tests ist die Testgröße

$$\chi^2 = \sum_{k=1}^{r} \frac{(h_{bk} - h_{ek})^2}{h_{ek}} \qquad (2)$$

zu berechnen und unter Berücksichtigung der Freiheitsgrade f (hier f=r-2) und der Irrtumswahrscheinlichkeit α (hier α=0,05) mit dem Tafelwert $\chi^2_{f,\ 1-\alpha}$ zu vergleichen. Hierbei ist zu beachten, dass die theoretische Häufigkeit in jeder Klasse nicht zu klein sein darf. Als Regel gilt, dass bei keiner Klasse die erwartete (berechnete) Häufigkeit kleiner als fünf sein soll (also h_{ek}≥5). Ist die letztgenannte Bedingung nicht erfüllt, muss man Klassen zusammenfassen. Dann ist unter r die neue Anzahl der Klassen zu verstehen. Für die Hypothese, dass der im Experiment ermittelten Verteilung eine Poisson-Verteilung der Grundgesamtheit zugrunde gelegt werden kann, gilt

$$\chi^2 < \chi^2_{f,1-\alpha} \qquad \text{(Annahme der Hypothese),}$$

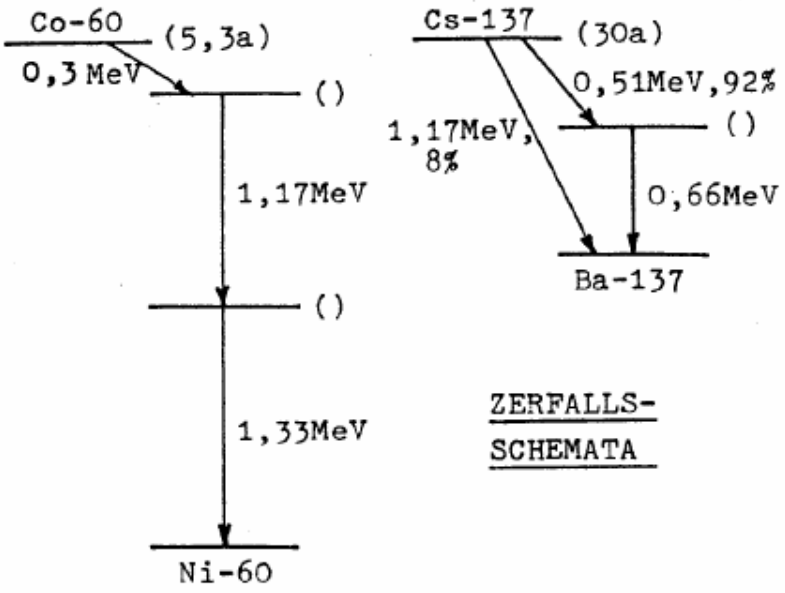
andernfalls

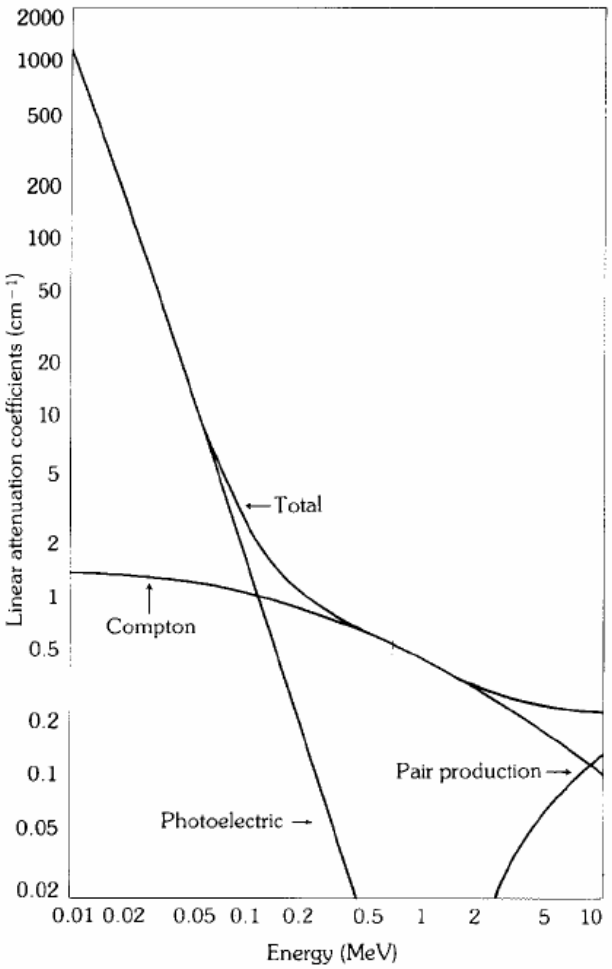
$$\chi^2 \geq \chi^2_{f,1-\alpha} \qquad \text{(Ablehnung der Hypothese).}$$

Eine Besonderheit der Poisson-Verteilung ist es, dass sowohl Erwartungswert und Varianz genau den Wert μ besitzen.

Berechnen Sie die momentane Aktivität des verwendeten Strahlers Co-60, der eine Halbwertszeit von 5,27 Jahren hat und am 24.10. 1998 eine Aktivität von 74 kBq hatte!

Abb. 1 Zerfallsschemata der Isotope Co-60 und Cs-137 (γ-Spektrum)





γ-Strahlung ist als hochfrequente elektromagnetische Strahlung ungeladen. Sie kann nicht direkt, z. B. durch Coulombwechselwirkung, Atome anregen oder ionisieren. Weil aber die Anregung oder Ionisierung von Atomen beim Nachweis und bei der Energiebestimmung von γ-Quanten (z.B. Szintillationsdetektor, Halbleiterzähler, Zählrohr) die entscheidende Rolle spielt, müssen in vorangehenden Prozessen die Quanten geladene Teilchen erzeugen. Man unterscheidet drei fundamentale Wechselwirkungprozesse von γ-Strahlung mit Materie: Photoeffekt, Compton-Effekt und Paarbildung.

Abb. 2

Lineare Abschwächungskoeffizienten μ von Eisen für γ -Strahlung (aus: „Harshaw Radiation Detectors“, Fa. Harshaw Chemie B.V., De Meern, Holland).

Chi(χ2)-Quadrat-Tabelle
http://www.uni-leipzig.de/~prakphys/aprak/PDF/Chi-Quadrat.pdf