



Übungsblatt V

Hinweise

- Ausgabe: 09.05.2018
- Abgabe bis 16.05.2018, 13:59 Uhr, Briefkasten Institut für Kernphysik
- Besprechung: 30.05.2018

Einfache Fragen

Bitte beachten Sie die auf [Ilias](#) zur Verfügung gestellten Quizfragen zu jedem Kapitel der Vorlesung. Diese sind prüfungsrelevant. Fragen zum Kernphysik-Quiz können innerhalb der Übungsgruppe besprochen werden.

Aufgabe I: Tripel- α Quelle

In Experimenten der Kernphysik wird häufig versucht über die bisher unbekannte Strahlung von Atomkernen Aufschluss über die Struktur von Kernen zu gewinnen. Eine wichtige Observable hierfür ist die Energie der Strahlung, die ein Atomkern beim radioaktiven Zerfall aussendet. Um unbekannter Strahlung eine Energie zuzuordnen, muss sie in Relation zu bereits bekannten Strahlungen gesetzt werden. In kernphysikalischen Experimenten werden hierzu die Detektoren mit sogenannten Eichquellen energiekalibriert.

Für die Energiebestimmung von Teilchenstrahlung wie α -Teilchen oder Protonen werden häufig Silizium-Halbleiterdetektoren verwendet (wie zum Beispiel auch im Praktikum B in der Kernphysik). Um einen möglichst großen Energiebereich abdecken zu können, müssen im Allgemeinen mehrere Eichquellen zur Kalibration genutzt werden. Eine *Tripel- α Quelle* besteht aus den Nukliden ^{239}Pu , ^{241}Am und ^{244}Cm . In Fig. 1 ist ein reales Spektrum dargestellt, welches die Messung einer solchen Quelle ergeben hat.

- Berechnen Sie den Q-Wert für α -Zerfall für die drei in der Quelle enthaltenen Nuklide mit Hilfe der Weizsäcker Massenformel! Vergleichen Sie ihre Ergebnisse mit den Q-Werten die Sie in der [NNDC-Datenbank](#) finden. Ordnen Sie die höchsten Peaks im Spektrum, den jeweiligen Nukliden zu! 3 Pkt.
- Lesen Sie die Energie der α -Teilchen aus dem Spektrum von den höchsten Peaks ab! Warum unterscheiden sich die α -Energien vom Q-Wert des α -Zerfalls? Berechnen Sie die α -Energien, die Sie für einen Übergang in den Grundzustand der jeweiligen Tochterkerne erwarten würden! 3 Pkt.

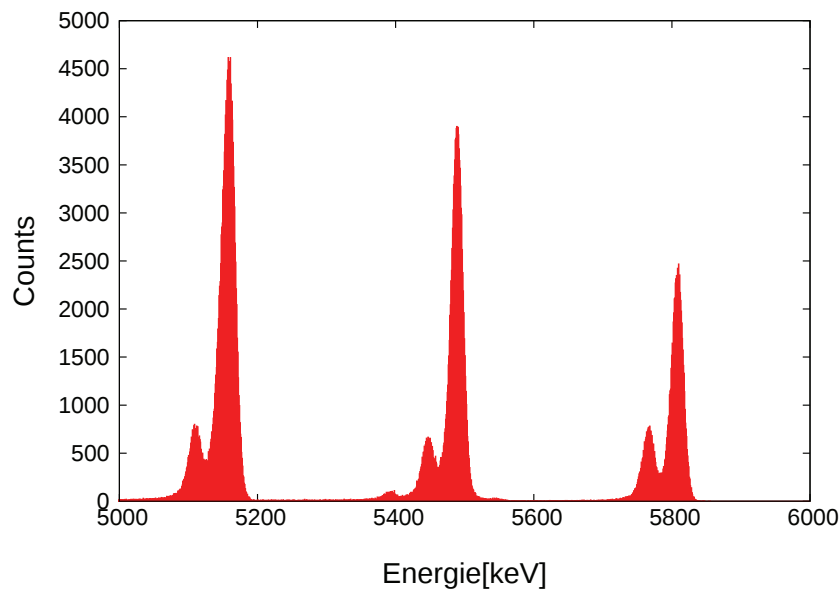


Figure 1: Das mit einem Siliziumdetektor aufgenommene Spektrum einer Triplet- α Quelle.

- c) Bestimmen Sie mit Hilfe der Daten in Fig. 1 bei welchen Energien Sie angeregte Zustände in den jeweiligen Tochterkernen erwarten würden! 2 Pkt.
- d) Diskutieren Sie warum ^{244}Cm häufig in den Grundzustand zerfällt, ^{241}Am jedoch nicht! 2 Pkt.

Aufgabe II: Das Alter der Erde

Der Geochemiker Clair Cameron Patterson war der Erste der massenspektrometrische Verfahren in der Mitte des letzten Jahrhunderts so optimierte, dass er kleinste Massenkonzentrationen von Bleis isotopen genau vermessen konnte. Damit handelte er sich nicht nur Ärger mit der US-amerikanischen Blei- und Mineralölindustrie ein¹, sondern schaffte auch die Voraussetzung zur Bestimmung des Alters der Erde und unseres Sonnensystems. Siehe C. Patterson, "[Age of meteorites and the earth](#)", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **10** (1956) 230.

Dazu bestimmte er unter anderem die Massenkonzentrationsverhältnisse $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ und $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ in Meteoriten. Die Bleis isotope entstehen durch unterschiedliche Zerfallsketten die bei verschiedenen Uranisotopen ihren Ursprung haben. Das Isotop ^{207}Pb ist hierbei ein Produkt des Zerfalls von ^{235}U und ^{206}Pb ein Produkt von ^{238}U . In der Tabelle sind die originalen Messungen gezeigt.

Stellen Sie die Punkte $\left(\frac{^{207}}{^{204}}, \frac{^{206}}{^{204}}\right)$ grafisch dar! Zeigen Sie, dass alle Meteoriten gleichen Alters auf einer Geraden mit der Steigung

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{1}{k} \times \frac{(e^{\lambda_1 T} - 1)}{(e^{\lambda_2 T} - 1)}$$

¹C. Patterson, "[Contaminated and natural lead environments of man](#)", *Arch. Environ. Health* **11** (1965) 344

Table 1. The isotopic compositions of lead in meteorites

Meteorite	Pb Composition		
	206/204	207/204	208/204
Nuevo Laredo, Mexico	50.28	34.86	67.97
Forest City, Iowa	19.27	15.95	39.05
Modoc, Kansas	19.48	15.76	38.21
Henbury, Australia	9.55	10.38	29.54
Canyon Diablo, Arizona	9.46	10.34	29.44

liegen. Hierbei sind λ_1 und λ_2 die Zerfallskonstanten von ^{235}U und ^{238}U und k das Verhältnis zwischen $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$. T ist hierbei das Alter der Meteoriten.

Nehmen Sie hierzu an:

- Alle Meteoriten sind zur gleichen Zeit entstanden
- Die Bleiisotopenverhältnisse für die Meteoriten waren bei der Entstehung alle gleich
- Das Uranisotopenverhältnis zum Messzeitpunkt entspricht dem irdischen Verhältnis

Finden Sie einen Wert für T der die Gerade (Isochrone) gut beschreibt!

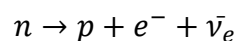
5 Pkt

Hinweis: Tatsächlich wurde die Methode schon früher publiziert² wobei am Anfang der Publikation noch ein falsches Alter ermittelt wurde. F.G. Houtermans schrieb auf der dritten Seite:

Through the courtesy of the authors a very important paper by C. PATTERSON, G. TILTON, M. INGRAM, H. BROWN [Pat 53] came to our knowledge before its publication which is apt to throw an entirely new light on the questions involved. Though these authors found the content of Pb in iron meteorites

Aufgabe III: Der β -Zerfall des Neutrons

Neutronen zerfallen beim β^- -Zerfall unter der Emission eines Elektrons und Elektron-Antineutrinos in ein Proton:



- Welche Energie wird beim Zerfall eines Neutrons frei? Vernachlässigen Sie hierbei die Ruhemasse des Neutrinos!
- Diskutieren Sie warum gebundene Neutronen innerhalb von Atomkernen stabil sein können! Ist ein Wasserstoff-Atom gegenüber Elektroneneinfang stabil? Begründen Sie Ihre Antwort!

2 Pkt

3 Pkt

²F.G. Houtermans, "Determination of the age of the earth from the isotopic composition of meteoritic lead", Nuovo Cim **10** (1953) 1623