

Übungen zur moderne Experimentalphysik I (Physik IV, Atome und Kerne) KIT, Sommersemester 2017



Prof. Dr. Guido Drexlin, Dr. Kathrin Valerius

Vorlesungen	Di 9:45 + Do 8:00, Gerthsen-Hörsaal
Sprechstunde	Drexlin: Di 11:30-12:30, Valerius: Do 9:45-10:45
Übungen	Mo 8:00, 9:45, 11:30 (Anmeldung im Ilias)
Sprechstunde	Erhard, Schlösser: Mo 13:00-14:00
Ilias	https://ilias.studium.kit.edu/goto.php?target=crs_661999&client_id=produktiv

Übungsblatt 11 – Bearbeitung bis 24.07.2017

WICHTIGER HINWEIS: Im Tutorium zu Blatt 11 (d.h. im nächsten Tutorium am 24.07.2017) wird ein kurzer Test zu den bisherigen Übungsaufgaben 19-38 (Blatt 6-10) durchgeführt. Dabei gibt es zu jeder Aufgabe eine kurze, einfache Verständnisfrage (kein Rechnen notwendig!). Es handelt sich hierbei um eine reine Wiederholung des Stoffes. Wer also die Übungen selbst gelöst hat oder die Lösungen im Tutorium mitgeschrieben hat, sollte keine Probleme haben alle Fragen zu beantworten.

(39) Mechanik des α -Zerfalls

Alle der schwersten natürlich vorkommenden radioaktiven Kernen sind aufgrund der Coulomb-Abstoßung der Protonen im Kern instabil. In Übungsblatt 10, Aufgabe 35 haben wir gelernt, dass selbst schwere Kerne wie Uran oder Plutonium nur mit äußerst geringen Wahrscheinlichkeit spontane Kernspaltung durchführen, um ihre Kerngröße zu reduzieren und somit in einen stabileren Zustand gelangen. Viel wahrscheinlicher ist dagegen der α Zerfall, bei dem ein ${}^4\text{He}^{++}$ emittiert wird.

- (a) Begründen Sie warum gerade ein Alpha-Teilchen emittiert wird und kein Proton, Neutron, Deuteron, Triton oder Helium-3 Kern! Zeigen Sie dies rechnerisch am Beispiel des Americium-241 Kerns. Suchen Sie sich hierzu die entsprechenden Daten aus: <http://atom.kaeri.re.kr/nuchart/>
- (b) Nach der Begründung aus der vorherigen Teilaufgabe könnte z.B. auch ein Zerfall mit der Emission eines Sauerstoff-16 Kerns möglich sein. Welche kernphysikalische Eigenschaft/Besonderheit teilen sich ${}^4\text{He}$ und ${}^{16}\text{O}$?
- (c) Wieso kommt es dennoch nicht (oder nur extrem selten) zum ${}^{16}\text{O}$ Zerfall?

(40) Datierung mittels Radiokarbonmethode

Zur Datierung archäologischer Objekte eignet sich ein natürlicher Strahler, nämlich ${}^{14}\text{C}$. Unter Einfluss der kosmischen Strahlung entsteht es in Atmosphäre mit folgender Reaktion



und zerfällt dann mit einer Halbwertszeit von 5730 a. Bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts betrug das Verhältnis von ${}^{14}\text{C}$ zu ${}^{12}\text{C}$ in der Atmosphäre ca. $1.5 \cdot 10^{-12}$.

- (a) Das Verhältnis dieser Isotope ist über die Erdgeschichte nicht immer ganz konstant gewesen. Überlegen Sie sich (und begründen Sie!) wie i) Änderungen in der Sonnenaktivität, ii) im Erdmagnetfeld, iii) Änderungen im Klima (z.B. während einer Eiszeit) und iv) tektonische Ereignisse wie Vulkanausbrüche einen Einfluss auf das Verhältnis haben/gehabt haben.
- (b) Auch der Mensch hat durch seine Aktivität auf der Erde dieses Verhältnis beeinflusst. Überlegen Sie sich (und begründen Sie!) warum Anfang des 20. Jahrhundert das $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ Verhältnis abgenommen hat und dann in den 1950er Jahren deutlich zu.

(Hinweis: Diese zwei Aufgaben verlangen ein bisschen mehr Transferleistung. Versuchen sie nicht gleich in einem Buch oder im Internet nach Lösungen zu suchen, sondern diskutieren Sie in einer Gruppe und ergänzen Sie so Ihr Wissen.)

Solange ein Organismus (Pflanze, Tier oder Mensch) lebt, atmet er ^{14}C in der atmosphärischen Gleichgewichtskonzentration ein (z.B. Pflanzen in Form von CO_2) beziehungsweise nimmt organisches Material zu sich. Nach dem Absterben und dem Stopp des Stoffwechsels ändert sich das Isotopenverhältnis durch den Zerfall von ^{14}C .

- (c) Wie sieht der Zerfall von ^{14}C aus?
- (d) Wie können Sie das Verhältnis von ^{14}C zu ^{12}C experimentell bestimmen. Überlegen Sie sich möglichst viele Methoden, die Sie in den Übungen und der Vorlesung kennengelernt habt (egal, ob diese tatsächlich verwendet werden). Wie muss dabei jeweils die Probe präpariert werden? Bewerten Sie die Methoden, ob Sie für den Zweck geeignet sind.
- (e) In einer kleine Pyramide findet man die sterblichen Überreste einer Person. Mittels einer der Methoden, die Sie in der vorherigen Aufgabe angegeben haben, bestimmen Sie das $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ Verhältnis und ermitteln einen Wert von $1.45022 \cdot 10^{-12}$. In welchem Jahr ist die Person gestorben?
- (f) (Zusatzfrage für einen Bonuspunkt, falls richtig!): Um wen handelt es sich wohl bei der Person?

(41) Aktivität von radioaktiven Proben

Sie möchten eine Probe mit radioaktiven Tritiumgas (T_2) in ein Labor bringen, um dort spezielle Messungen durchzuführen. Da dieses Labor keine spezielle Lizenz für den Umgang mit radioaktiven Material besitzt, darf die Aktivität maximal 1 GBq betragen (Dies ist die offizielle Freigrenze für Tritium). Die Halbwertszeit von T beträgt 12 Jahre 120 Tage. Ihre Probenzelle hat ein Volumen von 4 cm^3 .

- (a) Bis zu welchem Druck dürfen Sie die Zelle maximal mit Tritiumgas befüllen, um unterhalb der Freigrenze zu bleiben (Unter Normalbedingungen)?
- (b) Die Zerfallsenergie beim Tritiumzerfall beträgt 18.6 keV. Die mittlere kinetische Energie des β -Elektrons pro β -Zerfall beträgt 5.7 keV. Wohin geht der Rest der Energie?
- (c) Welche Wärmeleistung hat die Zelle?
- (d) Aufgrund von falscher Handhabung bildet sich in der Zelle ein Leck und Sauerstoff kann eintreten. Tritium kann nun in tritiiertes Wasser, HTO und T_2O , oxidiert werden. Eine Person befindet sich nun lange Zeit in dem Raum mit der defekten Zelle und atmet etwas die Hälfte der tritiierten Wassermenge ein. Welche Äquivalentdosis erhält die Person dadurch? (Dosis = abgegebene Energie pro Masse. Einheit Gray = J/kg Auf den Menschen bezogen kommen noch biologische Wirkfaktoren hinzu. Hierbei spricht man von Äquivalentdosis mit der Einheit Sievert = $\text{Sv} = \text{J/kg}$.) Entnehmen

Sie hierzu den Dosisfaktor der Richtlinie für die Ermittlung der Körperdosen bei innerer Strahlenexposition gemäß den §§ 63 und 63a der Strahlenschutzverordnung (Berechnungsgrundlage) - Anlage 3 <http://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/pdf/BMU-RS-19970313-KF-A003.pdf>

(42) Zerfallsgesetz

Drei Studierende aus der Vorlesung Atome und Kerne sind dabei ein Lösungsblatt zu bearbeiten. Hierbei unterhalten Sie sich über folgende Aufgabe *Das Isotop ^{137}Cs hat eine Halbwertszeit von 30 Jahren. Wie viel des Isotops ist nach 15 Jahren noch vorhanden?*

- Meryem meint: *Alles klar, wenn die Hälfte in 30 Jahren zerfällt, dann zerfällt in der Hälfte der Zeit ein Viertel. Also bleiben nach 15 Jahren noch 75% der Kerne übrig.*
- Hua entgegnet: *Nein, ich meine, dass man die Formel aus der Vorlesung AK-23/Folie 8 verwenden muss. Damit hat man nach 15 Jahren noch ca. 71% der Kerne übrig.*
- Marcela meint daraufhin: *Natürlich muss man eine Formel verwenden. Direkt auf Folie 6 (Vorlesung AK-23) muss man einfach die Gleichung umstellen und erhält: $\frac{\Delta N}{N} = -\lambda \Delta t$. Für ein $\Delta t = 15$ a erhalte ich als Anteil der zerfallenen Kerne $\frac{\Delta N}{N} = -35\%$. Somit sind also noch 65% Kerne nach der halben Halbwertszeit übrig.*

- (a) 75%, 71%, 65% oder noch ein weiterer Wert - was stimmt nun hier von?
- (b) Erklären Sie den Denkfehler bzw. Verständnisfehler der Studierenden.

(*) Punkteverteilung

Übungsblatt	Aufgabe	Teilaufgabe	Punkte
11	39	a	1.5
11	39	b	0.5
11	39	c	1
11	40	a, b, e	1
11	40	c	0.5
11	40	d	1.5
11	40	f	1 (Bonus!)
11	41	a	1.5
11	41	b, c, d	je 0.5
11	42	a, b	je 1