



Übung 5

(Ausgabe: 6.11.2014 in der Vorlesung, Abgabe: 11.11.2014 in den Übungen)

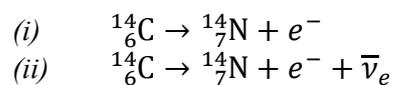
Übungsaufgaben (werden korrigiert und bewertet, zulassungsrelevant.)

▪ **Aufgabe 1: Revue der Vorlesung – Kurzfragen (14 Punkte)**

- Wie lässt sich die Ladungsverteilung und Massenverteilung eines Atomkernes experimentell bestimmen? Welche Sonden eignen sich für die Messungen am besten? (2 Punkte)
- Welche Voraussetzung zwischen Ausgangskern und Zerfallsprodukt muss erfüllt sein, damit ein Kern spontan zerfallen kann? Welche Beiträge im Tröpfchenmodell bewirken einen spontanen Zerfall von protonen- bzw. neutronenreichen Kernen? Haben stabile Kerne tendenziell eher einen Neutronen- oder Protonenüberschuss? (4 Punkte)
- Aus welchen Beiträgen setzt sich der Kernspin \vec{I} zusammen? Was ist sein Betrag? Wie lässt sich der Grundzustandsspin von gu/ug-Kernen und uu-Kernen bestimmen? (3 Punkte)
- Die Hyperfeinstruktur resultiert aus der Wechselwirkung des magnetischen Momentes des Atomkernes mit jenem der umgebenden Atomelektronen. Der neue zu betrachtende Spin ist $\vec{F} = \vec{I} + \vec{J}$, wobei \vec{I} hier dem Kernspin und \vec{J} dem Elektronenspin entspricht. In wieviele magnetische Unterzustände splittet ein Level mit $F=3$ in einem äußeren magnetischen Feld auf? Wie lässt sich der Kernspin durch die Hyperfeinstruktur bestimmen? (2 Punkte)
- Zeigen Sie, dass das elektrische Dipolmoment einer homogen geladenen Kugel verschwindet! Was heißt dies für das statische elektrische Dipolmoment eines sphärischen oder ellipsoiden Atomkernes mit homogener Ladungsverteilung? (3 Punkte)

▪ **Aufgabe 2: Paulis Postulat – Die Existenz des Neutrinos (10 Punkte)**

- Im Jahr 1930 postulierte Pauli die Existenz des Neutrinos beim β -Zerfall. Welche physikalischen Beobachtungen führten ihn zu dieser Hypothese? Diskutieren Sie hierzu die folgenden beiden Zerfälle in Hinblick auf Energie-, Impuls und Drehimpulserhaltung!



Welche weitere Erhaltungsgröße erfordert außerdem die Existenz des Neutrinos beim β -Zerfall? (7 Punkte)

- Welche Arten von erlaubten und verbotenen β -Zerfällen gibt es und wie werden diese klassifiziert? Betrachten Sie den β^- -Zerfall von (ii). Handelt es sich hier um einen erlaubten oder verbotenen Zerfall? Begründen Sie ihre Antwort! (3 Punkte)

(Hinweis: Der β -Zerfall von ${}^{14}\text{C}$ endet im Grundzustand von ${}^{14}\text{N}$. Der Grundzustandsspin von ${}^{14}\text{N}$ ist $J^\pi=1^+$.)

▪ **Aufgabe 3: α -Zerfall und das Alter unseres Sonnensystems (6 Punkte)**

Das Alter unseres Sonnensystems wurde durch Wissenschaftler im Jahr 2002 durch präzise Analyse des ${}^{207}\text{Pb}/{}^{206}\text{Pb}$ Isotopen-Verhältnisses in Meteoriten auf 4,56 Milliarden Jahre datiert (Für Interessierte: Y. Amelin *et al.*, SCIENCE **297**, 1678 (2002)). Während ${}^{207}\text{Pb}$ aus der

Zerfallskette von ^{235}U entsteht, wird ^{206}Pb durch den Zerfall von ^{238}U produziert. Heute besteht natürliches Uran zu 99.28% aus ^{238}U und 0.72% aus ^{235}U .

- a) Zeigen Sie, dass die Annahme, natürliches Uran habe zu gleichen Mengen aus ^{235}U und ^{238}U bei der Bildung unseres Sonnensystems bestanden, nicht zum gemessenen Alter des Sonnensystems führt! Welches Isotopenverhältnis muss tatsächlich vorgeherrscht haben? (3 Punkte)
- b) In einer der ältesten Gesteinsproben wurde das Massenverhältnis $m(^{206}\text{Pb})/m(^{238}\text{U})=0.77$ gemessen. Bestimmen Sie das Alter der Gesteinsprobe! (3 Punkte)

(Hinweis: Die aktuellen Isotopenhäufigkeiten und Halbwertszeiten finden Sie in der Nuklidkarte.)

Der Brief von Wolfgang Pauli an die radioaktiven Damen und Herren (1930):

original - Photocopy of PLC 0393
Abschrift/15.12.56 FM

Offener Brief an die Gruppe der Radioaktiven bei der
Gauvereins-Tagung zu Tübingen.

Abschrift

Physikalisches Institut
der Eidg. Technischen Hochschule
Zürich

Zürich, 4. Dez. 1930
Gloriastrasse

Liebe Radioaktive Damen und Herren,

Wie der Ueberbringer dieser Zeilen, den ich huldvollst anhören bitte, Ihnen des näheren auseinandersetzen wird, bin ich angesichts der "falschen" Statistik der N- und Li-6 Kerne, sowie des kontinuierlichen beta-Spektrums auf einen verzweifelten Ausweg verfallen um den "Wechselsatz" (1) der Statistik und den Energiesatz zu retten. Nämlich die Möglichkeit, es könnten elektrisch neutrale Teilchen, die ich Neutronen nennen will, in den Kernen existieren, welche den Spin 1/2 haben und das Ausschliessungsprinzip befolgen und sich von Lichtquanten ausserdem noch dadurch unterscheiden, dass sie nicht mit Lichtgeschwindigkeit laufen. Die Masse der Neutronen müsste von derselben Grössenordnung wie die Elektronenmasse sein und jedenfalls nicht grösser als 0,01 Protonenmasse.- Das kontinuierliche beta-Spektrum wäre dann verständlich unter der Annahme, dass beim beta-Zerfall mit dem Elektron jeweils noch ein Neutron emittiert wird, derart, dass die Summe der Energien von Neutron und Elektron konstant ist.

Nun handelt es sich weiter darum, welche Kräfte auf die Neutronen wirken. Das wahrscheinlichste Modell für das Neutron scheint mir aus wellenmechanischen Gründen (näheres weiss der Ueberbringer dieser Zeilen) dieses zu sein, dass das ruhende Neutron ein magnetischer Dipol von einem gewissen Moment M ist. Die Experimente verlangen wohl, dass die ionisierende Wirkung eines solchen Neutrons nicht grösser sein kann, als die eines gamma-Strahls und darf dann M wohl nicht grösser sein als $e \cdot (10^{-13} \text{ cm})$.

Ich traue mich vorläufig aber nicht, etwas über diese Idee zu publizieren und wende mich erst vertrauensvoll an Euch, liebe Radioaktive, mit der Frage, wie es um den experimentellen Nachweis eines solchen Neutrons stände, wenn dieses ein ebensolches oder etwa 10mal grösseres Durchdringungsvermögen besitzen würde, wie ein gamma-Strahl.

Ich gebe zu, dass mein Ausweg vielleicht von vornherein wenig wahrscheinlich erscheinen wird, weil man die Neutronen, wenn sie existieren, wohl schon längst gesehen hätte. Aber nur wer wagt, gewinnt und der Ernst der Situation beim kontinuierlichen beta-Spektrum wird durch einen Ausspruch meines verehrten Vorgängers im Amt, Herrn Debye, beleuchtet, der mir kürzlich in Brüssel gesagt hat: "O, daran soll man am besten gar nicht denken, sowie an die neuen Steuern." Darum soll man jeden Weg zur Rettung ernstlich diskutieren.- Also, liebe Radioaktive, prüfet, und richtet.- Leider kann ich nicht persönlich in Tübingen erscheinen, da ich infolge eines in der Nacht vom 6. zum 7. Dez. in Zürich stattfindenden Balles hier unakkommodierbar bin.- Mit vielen Grüssen an Euch, sowie an Herrn Back, Euer untertänigster Diener

ges. W. Pauli