

13PHL1

Vorabiturklausur 2010

Radioaktivität

10. März 2010

Allgemeine Hinweise:

- Kommentieren Sie Ihre Lösungen! (Erläuterungen, Begründungen, Folgerungen)
- Rechnen Sie in SI-Einheiten (kg, m, s etc.)
- „Erläutern“ und „erklären“ heißt: Sachverhalte auf Regeln, Gesetzmäßigkeiten bzw. kausale Zusammenhänge zurückführen.

Erlaubte Hilfsmittel: Taschenrechner, Schreibutensilien

Radioaktivität Die Entdeckung der Radioaktivität stellt einen der Meilensteine in der Physik des ausgehenden 19. und beginnenden 20. Jh. dar. Sie wird heutzutage zur Energiegewinnung, in der Geologie und Paläontologie zur Altersbestimmung und in der Medizin zu diagnostischen und therapeutischen Zwecken genutzt. Die mit ihr verbundenen Gefahren sind regelmäßig von großer Bedeutung in der Politik (Kernwaffen, Transport und Lagerung von Brennelementen, Protest gegen nukleare Anlagen etc.).



Marie CURIE (1867 – 1934) studierte in Paris Physik und Chemie. Fasziniert von der Entdeckung der Strahlung radioaktiver Stoffe durch Henri BEQUEREL 1896 erforschte sie zusammen mit ihrem Mann, Pierre CURIE, diese damals noch unbekannte Strahlung. 1898 entdeckten sie bei Versuchen mit Pechblende die radioaktiven Elemente Polonium und Radium. Der Begriff „Radioaktivität“ stammt von Marie CURIE. 1903 erhielt sie zusammen mit ihrem Mann und Henri BEQUEREL den Nobelpreis für Physik. 1911 alleine den Nobelpreis für Chemie. Marie CURIE starb an Leukämie, einer Bluterkrankung, die sie sich durch die laufende Einwirkung der Strahlung radioaktiver Stoffe auf ihren Körper zugezogen hatte.

- 1.1. Die Messung der Aktivität einer radioaktiven Substanz ergibt folgende Zählraten in Abhängigkeit von der Zeit:

t/s	0	15	30	45	60	90	120	150	180	240	300	360
n/s ⁻¹	151	112	85	67	55	38	31	26	22	15	11	8

Versuchen Sie mittels einer geeigneten Koordinatendarstellung („Linearisierung“) die Halbwertszeit der Substanz zu bestimmen. Begründen Sie anhand des Graphen, dass in der Substanz zwei Nuklide unterschiedlicher Halbwertszeit vorhanden waren. Bestimmen Sie beide Halbwertszeiten! (Tipp: Beachten Sie, dass das kurzlebige Nuklid bei großen t fast verschwunden ist; bestimmen Sie also zunächst $T_{1/2}$ des langlebigen Nuklids. Um die Aktivität des kurzlebigen Nuklids zu erhalten um daraus dessen $T_{1/2}$ zu bestimmen, müssen Sie von der Gesamtaktivität die Aktivität des langlebigen Nuklids subtrahieren.)

- 1.2. Die größere Halbwertszeit aus 1.1. stimmt in etwa mit der von ^{238}Pa überein. Bestimmen Sie die wahrscheinlichste Zerfallsreihe dieses Nuklids.
- 1.3. Die Aktivität einer radioaktiven Substanz ist die Anzahl der Zerfallsprozesse pro Sekunde. Da sich die Anzahl der zerfallsfähigen Kerne N ständig ändert (Wie?), definiert man als Aktivität

den negativen Differentialquotienten aus der Änderung jener Anzahl und der Zeit: $A = -\frac{dN}{dt}$

Leiten Sie daraus die Beziehung $A = \lambda \cdot N$ her.

- 1.4. Lebende Tiere und Pflanzen weisen dasselbe konstante Verhältnis zwischen dem häufigsten Kohlenstoffisotop ^{12}C und dem radioaktiven ^{14}C wie die Luft auf (dort wird ^{14}C im Wesentlichen durch kosmische Strahlung gebildet; $\frac{^{14}\text{C}}{^{12}\text{C}} \approx 1,5 \cdot 10^{-12}$). In 1g Kohlenstoff findet man dabei etwa 16 Zerfälle pro Minute ($A_0(1\text{g}) = 16 \text{min}^{-1}$). Stirbt der Organismus ab, nimmt die Zahl der ^{14}C -Atome kontinuierlich ab.

Ein alter Knochen, bei dem der Kohlenstoffgehalt 25 g beträgt, hat eine Aktivität von $A = 2,4 \cdot 10^2 \text{min}^{-1}$.

- a) Wie viele ^{14}C -Atome sind noch in dem Knochen?
b) Wie alt ist der Knochen?

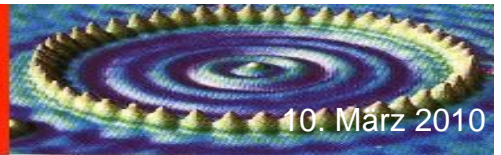
- 1.5. Beim β^- -Zerfall entsteht bekanntlich ein Elektron im Atomkern als Zerfallsprodukt. Zeigen Sie, dass es sich dort nicht halten kann mit Hilfe folgender Überlegungen:

Berechnen Sie die potentielle Energie des Elektrons im elektrischen Feld eines Nukleons im Abstand von $r_0 = 2 \cdot 10^{-15} \text{m}$. Schätzen Sie dann den Impuls des Elektrons ab, entweder über seine Welleneigenschaften in einem Potentialtopf der Länge $2 \cdot r_0$ oder über die Impulsunschärfe in einem solchen Raumbereich; aus der Kenntnis des Impulses lässt sich die kinetische Energie bestimmen.

Für stabile Systeme aus zwei Körpern, zwischen denen eine anziehende Kraft herrscht, gilt: $E_{\text{pot}} = -2 E_{\text{kin}}$
Ist diese Bedingung für das Elektron erfüllt?

(Anm.: Z.B. gilt im Schwerfeld der Erde für einen Satelliten $\frac{m v^2}{r} = -m g \Leftrightarrow 2 E_{\text{kin}} = 2 \cdot \frac{1}{2} m v^2 = m g r = E_{\text{pot}}$)

Diese Anmerkung hat nichts mit der Aufgabenstellung zu tun! Sie soll lediglich zeigen, dass die Bedingung, von der in der Aufgabe die Rede ist, in einem völlig anders garteten physikalischen System erfüllt ist!

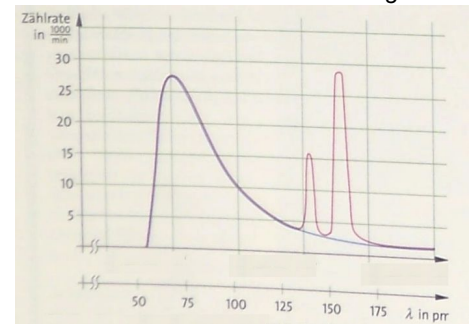


13PHL1

10. März 2010

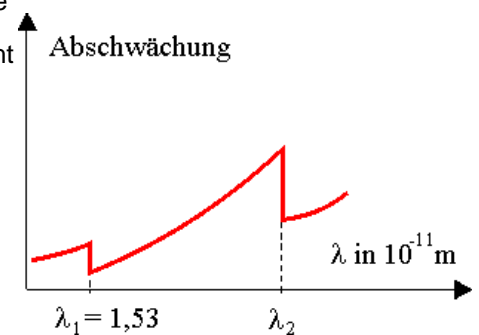
Moseleysches Gesetz Mit Hilfe der Röntgenspektroskopie konnte Moseley eine einfache Methode zur Bestimmung der Kernladungszahl von Elementen einführen.

- 2.1. Erzeugt man Röntgenstrahlung durch das Abbremsen von schnellen Elektronen in einer Röntgenröhre, sieht man im Spektrum einer kontinuierlichen („weißen“) Intensitätsverteilung diskrete, anodenmaterialabhängige Linien überlagert. Erklären Sie das Zustandekommen des Spektrums.



- 2.2. Bestrahlt man eine Goldfolie mit Röntgenstrahlen, so erhält man für die Abschwächung der Strahlintensität eine typische Wellenlängenabhängigkeit (*Röntgenabsorptionsspektrum*), die in der Skizze vereinfacht dargestellt ist.

- Erläutern Sie, wie es bei der Wellenlänge λ_1 zu der sprunghaften Änderung im Absorptionsspektrum kommt.
- Berechnen Sie die Wellenlänge λ_3 der K_α -Linie im Emissionsspektrum für Gold.
- Warum tritt die K_α -Linie nicht im Absorptionsspektrum als Resonanzabsorptionslinie auf?
- Skizzieren Sie ein „Termschema“, das das Zustandekommen der Wellenlängen λ_i ($i=1,2,3$) verdeutlicht.
- Berechnen Sie unter Verwendung bisheriger Ergebnisse die Wellenlänge λ_2 .



- 2.3. In der Kernphysik haben Sie zwei Prozesse kennen gelernt, durch die ein Atomkern seinen relativen Überschuss an Protonen verringern kann.

- Nennen und erklären Sie die beiden Prozesse.
- Stellen Sie die Reaktionsgleichungen für die Prozesse auf. (Tipp: Achten Sie auf die Konstanz der Baryonen- (schwere Teilchen; z.B. Proton) und Leptonenzahl (leichte Teilchen; z.B. Elektron), wobei Antiteilchen negativ gezählt werden.)
- Erläutern Sie den Zusammenhang eines dieser Prozesse mit dem Moseleyschen Gesetz.

Konstanten:

- entnehmen Sie bitte der Formelsammlung
- Moseleysches Gesetz:

$$\Delta E = hf = 13,6 eV (Z-1)^2 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \quad (\text{Energie in eV!})$$

Bild S. 1: Dorn-Bader, Physik Sek II.
Gymn.Ges.-B., Hannover 2000
(Schroedel), S.477

