

Die Bestandteile radioaktiver Strahlung

Nach der Entdeckung der Radioaktivität durch den französischen Physiker Henri Becquerel im Jahre 1896 wurden diverse Experimente durchgeführt, um die Natur der von radioaktiven Elementen ausgehenden Strahlung zu untersuchen.

Der Neuseeländer Ernest Rutherford entdeckte bereits 1898 zwei Komponenten der radioaktiven Strahlung: Eine breitet sich in der Luft lediglich einige Zentimeter weit aus, die andere mehrere Meter weit. Die ionisierende Wirkung der Strahlungssorte mit der geringeren Reichweite ist aber viel stärker als diejenige anderen Sorte. Rutherford bezeichnete diese Komponenten als α - und β -Strahlung. Dass von radioaktiven Stoffen noch eine dritte Art von Strahlung ausgeht, entdeckte der Franzose Paul Villard zwei Jahre später. Diese von da an γ -Strahlung genannte Art hat noch eine weitaus grössere Reichweite als die β -Strahlung, aber eine noch geringere Ionisationswirkung.

Becquerel fand, dass die β -Strahlung aus Teilchen besteht und dass sie sich in magnetischen Feldern ablenken lässt: Teilchen der β -Strahlung, die sich in x -Richtung bewegen und ein magnetisches Feld in y -Richtung durchlaufen, werden auf ihrem Flug in negative z -Richtung abgelenkt. Teilchen der α -Strahlung werden in die entgegengesetzte Richtung abgelenkt. Die Stärke der Ablenkung ist für jedes Teilchen jedoch unterschiedlich. Es lässt sich daraus schliessen, dass die Teilchen unterschiedlich schnell sein müssen.

Frage 1: Sind die Teilchen der α , bzw. der β -Strahlung positiv oder negativ geladen?

Bequerel benutzte nun eine Anordnung, in der die Teilchen durch ein magnetisches in y -Richtung und *gleichzeitig* durch ein elektrisches Feld in negativer z -Richtung fliegen (eine solche Anordnung nennt man ein Wien-Filter, nach dem deutschen Physiker Wilhelm Wien). In einer solchen Anordnung kompensieren sich die elektrische und die magnetische Kraft gerade für Teilchen mit einer ganz bestimmten Geschwindigkeit (unabhängig von Masse und Ladung).

Aufgabe 1: Welche Geschwindigkeit ergibt sich für die in einem Wien-Filter nicht abgelenkten Teilchen, wenn das elektrische Feld von zwei auf 2.8 kV aufgeladenen Kondensatorplatten im Abstand von 0.9 mm erzeugt wird und das magnetische Feld 11 mT beträgt?

Obwohl Einstein zu dieser Zeit seine spezielle Relativitätstheorie noch nicht veröffentlicht hatte, war bereits bekannt, dass sich geladene Teilchen bei hohen Geschwindigkeiten so verhalten, wie wenn sich ihre Masse gemäss der Formel

$$m(v) = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

vergrössern würde (Einstein hat dann gezeigt, dass diese Massenzunahme tatsächlich stattfindet – und zwar unabhängig von der Ladung der Teilchen). Das kam Becquerel zugute, denn so konnte er die Masse der herausgefilterten Teilchen korrekt bestimmen. Indem er diese Teilchen in ein Magnetfeld (nun ohne elektrisches Feld) leitete, konnte er aufgrund der Radien der Kreisbahnen, auf denen sich die Teilchen bewegten, auf den Quotienten q/m aus

Ladung und Masse schliessen. Die plausible Annahme, dass die Teilchenladung ein kleines Vielfaches der Elementarladung sein müsse (oder die Elementarladung selbst), ermöglichte es ihm, zu bestimmen, um welche Art Teilchen es sich handelte. Das gleiche Teilchen hatte erst wenige Jahre zuvor der Engländer Joseph Thomson entdeckt.

Aufgabe 2: Die von Becquerel untersuchten Teilchen der β -Strahlung haben sich – bei einer Geschwindigkeit wie in Aufgabe 1 – in einem Magnetfeld der Stärke 36 mT auf Kreisbahnen mit einem Radius von 13.5 cm bewegt. Gehen Sie davon aus, dass die Ladung dieser Teilchen gerade die Elementarladung ($1.602 \cdot 10^{-19}$ C) ist und berechnen Sie daraus ihre Masse m . Lösen Sie dann die obige Formel auf, um auch die Ruhemasse m_0 zu bestimmen. Um welche Art von Teilchen handelt es sich?

Mit vergleichbaren Experimenten hat der Neuseeländer Ernest Rutherford das Ladungs-Masse-Verhältnis der bei der α -Strahlung entstehenden Teilchen bestimmt. Dabei stellte sich heraus, dass α -Teilchen etwa zehnmal langsamer sind als β -Teilchen. Davon unabhängige Messungen der Ladung allein ergaben, dass die Teilchen die doppelte Elementarladung tragen. Daraus liess sich ableiten, dass die Masse der α -Teilchen mit derjenigen von Heliumatomen übereinstimmt. Rutherford überprüfte dies, indem er das Emmissionsspektrum der α -Teilchen mit demjenigen von Helium verglich (das bedeutet, dass er die Wellenlängen des Lichtes bestimmte, welches von den Teilchen ausgesandt wurde, wenn er sie künstlichen Blitzschlägen aussetzte).

Frage 2: α -Teilchen haben eine deutlich stärkere Ionisationswirkung als β -Teilchen. Woran liegt das?

Die Natur der γ -Strahlung wurde aus dem Vergleich mit der früher entdeckten Röntgenstrahlung aufgeklärt. Man fand, dass es sich wie bei Licht um elektromagnetische Wellen handelt, allerdings mit viel geringerer Wellenlänge (Licht: ca. $3 \cdot 10^7$ m, dagegen γ -Strahlung: $10^{-10} - 10^{-13}$ m!) und entsprechend höherer Energie.

Aufgabe 3: Marie Curie hat die Energie gemessen, die von 1 g Radium ausgeht. Sie fand, dass stündlich eine Energie von etwa 400 J abgegeben wird. Die Geschwindigkeit der von Radium abgestrahlten α -Teilchen liegt bei etwa $1.5 \cdot 10^7$ m/s, ihre Masse beträgt 4.003 u, $u = 1.66 \cdot 10^{-27}$ kg. Berechnen Sie aus diesen Angaben die Zahl der pro Sekunde und pro g Radium abgestrahlten α -Teilchen!

Ergebnisse der Aufgaben: **1.** $2.83 \cdot 10^8$ m/s **2.** $9.1 \cdot 10^{-31}$ kg **3.** $1.5 \cdot 10^{11}$ Teilchen