

Problemstellung 1: Der Mößbauer-Effekt

Du hast vom Mößbauereffekt reden gehört und hast neugierig auf einer Webseite die folgende Beschreibung des Phänomens gefunden:

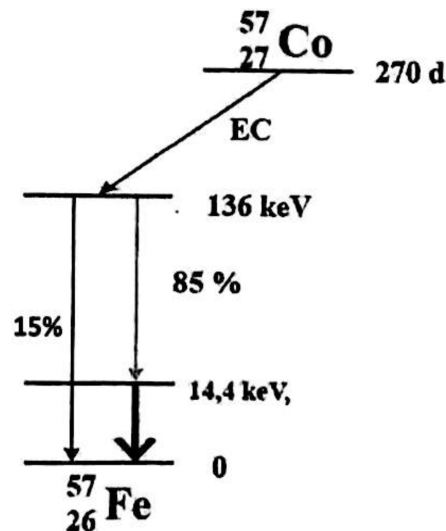
” Ein Kern mit Z Protonen und N Neutronen, der sich in einem angeregten Zustand mit Energie E_e befindet, durchläuft einen Übergang in den Grundzustand mit Energie E_g und strahlt hierbei ein Photon mit Energie $E_e - E_g$ aus.

Diese Photon kann von einem Kern derselben Art (mit Gleichen Werten für Z und N), der sich im Grundzustand befindet, absorbiert werden und einen Übergang in den angeregten Zustand verursachen. Dieses Phänomen wird Resonanzabsorption genannt und erfolgt, weil die Energie des vom ersten Kern ausgestrahlten Photons gleich der Energiedifferenz zwischen dem Grundzustand und dem ersten angeregten Zustand des zweiten Kerns ist.

Bei manchen Kernen, wie z.B. $^{57}_{26}\text{Fe}$, wird dieses Phänomen der Resonanzabsorption nicht beobachtet, wenn sich das Atom im gasförmigen Zustand befindet und daher frei beweglich ist. Allerdings kommt es zur Resonanzabsorption, wenn sich das Atom in einem eisernen Festkörper befindet; dieses Phänomen wird Mößbauereffekt genannt.”

Auf einer weiteren Webseite hast du diese zusätzlichen Informationen gefunden:

”Das Isotop $^{57}_{27}\text{Co}$ ist instabil und zerfällt mittels Elektroneneinfang¹ zu $^{57}_{26}\text{Fe}$ mit einer mittleren Lebensdauer von 270 Tagen; Beim diesem Zerfall wird der angeregte Zustand des $^{57}_{26}\text{Fe}$ -Kerns besetzt, der einer Energie von 136 keV entspricht. Dieser angeregte Zustand zerfällt nach ca. 10ns mit einer Wahrscheinlichkeit von 85% in den angeregten Zustand niedriger Energie oder mit einer Wahrscheinlichkeit von 15% in den Grundzustand. In beiden Fällen können die dabei emittierten Photonen zur Untersuchung des Mößbauereffekts von $^{57}_{26}\text{Fe}$ verwendet werden. Die Gegebenheiten werden im folgenden Termschema (Energieniveauschema) abgebildet.”



1. Beschreibe, unter Verwendung der Informationen aus den zwei Webseiten, was im Fall von $^{57}_{26}\text{Fe}$ passieren sollte, wenn man die Energieniveaus des Kerns und die Energie des emittierten Photons

¹Der Elektroneneinfang ist ein Prozess, bei dem ein Kern eines Atoms eines der Orbitalelektronen absorbiert, ein Proton des Kerns in ein Neutron umwandelt und ein Elektron-Neutrino emittiert. In Folge des Elektroneneinfangs wandelt sich der Kern in einen anderen Kern, mit derselben Nukleonenzahl aber mit einer um eins verringerten Ordnungszahl.

berücksichtigt. Nimm hierfür an, dass sich der Kern sowohl vor als auch nach dem Zerfall in Ruhe befindet. Berechne aus der bloßen Kenntnis der Energieniveaus der Anfangs- und Endzustände die Wellenlänge des emittierten Photons der zwei Übergänge in den Grundzustand. Erläutere außerdem welchem Frequenzband des elektromagnetischen Spektrums die Photonen zuzuordnen sind.

2. In Wirklichkeit erfährt der Kern bei der Emission eines Photons einen Rückstoß, ähnlich einem Gewehr das ein Geschoss abfeuert. Aufgrund dieses Rückstoßes wird Teil der Energie des Zerfalls in kinetische Energie des Kerns umgewandelt und die Energie des emittierten Photons ist kleiner im Vergleich zum Fall, bei dem man den Kern in Ruhe betrachtet (also ohne Rückstoß).

Zeige, dass aufgrund des Rückstoßes nach der Emission eines Photons mit Energie E_f der Kern eine kinetische Energie von

$$E_R = \frac{E_f^2}{2mc^2}$$

besitzt, wobei m die Masse des Kerns und c die Lichtgeschwindigkeit sind und bestimme dessen Wert für die zwei betrachteten Übergänge in den Grundzustand.

3. Betrachte nun den Übergang von dem angeregten Zustand niedrigerer Energie in den Grundzustand und schließe aus der mittleren Lebensdauer von ca. 100ns des angeregten Zustands auf die Ungenauigkeit ΔE mit der die Energie des emittierten Photons bekannt ist.
4. Erkläre auf der Grundlage der bestimmten Werte von E_R und ΔE für den Übergang vom angeregten Zustand niedrigerer Energie aus welchem Grund man beim Eisenkern im gasförmigen Zustand keine Resonanz(Absorption) beobachtet.

Die Forscher waren durchaus überrascht, dass die Resonanz zu beobachten war, wenn sich das Atom in einem Eisenstab (Eisenblock) befand. Versuche eine Erklärung dafür zu liefern, dass man in diesem Fall die Resonanz beobachten kann und gib, wenn notwendig, ein quantitatives Beispiel an.