

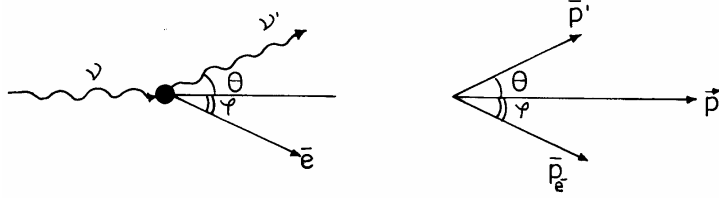
Der Compton-Effekt

Ziel des Experiments

Man misst die Compton Wellenlänge der γ Strahlen mit 12,5 MeV Energie, die von einer ^{60}Co Quelle stammen.

Die Theorie des Experiments

Eine wichtige Bestätigung hat die Quantenvorstellung des Lichtes durch den **Compton-Effekt** erhalten. Wenn freie Elektronen von einer elektromagnetischen Lichtwelle überstrichen werden, so müssen sie wegen der periodisch sich ändernden elektrischen Kräfte zu Schwingungen veranlasst werden. Jedes schwingende Elektron stellt aber einen Dipol dar, der neue elektromagnetische Strahlung aussendet. Es tritt eine Erscheinung ein, die man als Streuung bezeichnet; die Energie der primären Strahlung wird teilweise aus ihrer ursprünglichen Fortpflanzungsrichtung abgelenkt und von den Streuzentren nach den verschiedensten Richtungen verteilt. Wenn man diese Erscheinungen experimentell untersucht, gelangt man zu Ergebnissen, die mit den geschilderten Folgerungen aus der Wellenauffassung der Strahlung nicht vereinbar sind, die sich dagegen aus der Quantenvorstellung ohne weiteres verstehen lassen. Zunächst zeigt der Versuch, dass das gestreute Licht eine etwas größere Wellenlänge als das Ursprüngliche hat, während nach der Wellenauffassung die Streustrahlung die gleiche Wellenlänge wie die Primärstrahlung haben müsste, denn die Frequenz der Streustrahlung ist gleich der schwingenden Elektronen, und dieses schwingt mit der gleichen Frequenz wie die erregende Primärstrahlung. Die von *A. H. Compton* (geb. 1892) entdeckte Vergrößerung der Wellenlänge der Streustrahlung lässt sich sofort erklären, wenn wir von der Vorstellung ausgehen, dass ein einzelnes Lichtquant gegen ein Elektron stößt. Dieser Zusammenstoß erfolgt formal nach den Gesetzen des elastischen Stoßes, d. h., es gilt der Energie- und der Impulssatz. Durch den Zusammenstoß wird das Elektron in Bewegung gesetzt und das Lichtquant aus seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt.



Das Lichtquant gibt dabei einen Teil seiner Energie und seines Impulses an das Elektron ab; mit der Energieabgabe ist aber nach der Formel $E = h\nu$ eine Verringerung der Frequenz verbunden. Eine genauere rechnerische Behandlung dieser Vorgänge, die wir hier durchführen, zeigt, dass man aus der Flugrichtung eines gestreuten Lichtquants die Bewegungs-Richtung des gerade von diesem Lichtquant getroffenen Elektrons berechnen kann.

$$h\nu = h\nu' + E_k + A$$

Wenn $A=0$ und $E_k = mc^2 - m_0c^2$, erhält man:

$$h\nu = h\nu' + mc^2 - m_0c^2$$

Aus dem Impulsgesetz:

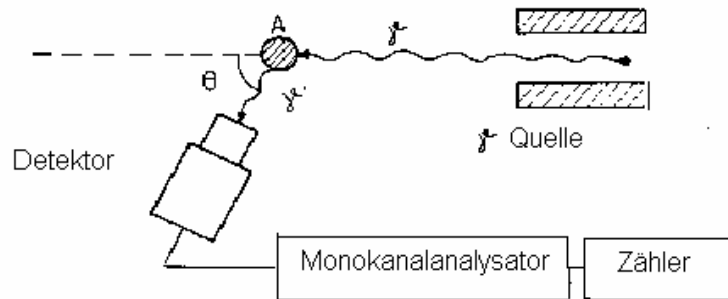
$$\vec{p} = \vec{p}' + \vec{p}_e \quad \text{und aus den bekannten Gleichungen: } p = \frac{h\nu}{c}; \quad p' = \frac{h\nu'}{c}; \quad p_e = mv;$$

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{finden wir nach einer kurzen Berechnung: } \Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0c} (1 - \cos\theta)$$

wo: $\Lambda = \frac{h}{m_0c}$ die **Compton-Wellenlänge** des Elektrons bezeichnet.

Die Experimente stimmen mit den Ergebnissen der Theorie vollständig überein und zeigen tatsächlich, dass einem fortgestoßenen Elektron, immer ein gestreutes Lichtquant zugeordnet werden kann. Bezeichnet man die Zunahme der Wellenlänge der Streustrahlung mit $\Delta\lambda$, den Winkel zwischen der Richtung des einfallenden und des gestreuten Strahles (von dem $\Delta\lambda$ allein abhängt) mit θ , so beobachtet man für $\theta = 90^\circ$ stets eine Zunahme der Wellenlänge um $\Delta\lambda = 2,42626 \cdot 10^{-12}\text{m}$. Diese experimentell beobachtete Größe, die man als **Compton-Wellenlänge** des Elektrons bezeichnet, stimmt mit dem aus der Rechnung sich ergebenden Wert genau überein. Bei den Versuchen muss man energiereiche Lichtquanten von Röntgen- oder γ Strahlen verwendet damit der Effekt bemerkbar wird.

Die experimentelle Vorrichtung



Die radioaktive Quelle ^{60}Co lässt γ Quanten mit der gesamten Energie $E = 1,25$ MeV durch ein Pb Spalt zu einem Zielzylinder aus Al oder (Cu, Fe) heraus. Dieser enthält schwach gebundene Elektronen, deren Energie kleiner im Vergleich zur Energie der einfallenden γ Strahlung ist. Die Energie $E_{\gamma'}$ den Compton gestreuten γ' Strahlen wird unter verschiedene Winkel θ mit Hilfe einer Spektrometriekette γ bestimmt.

Die Änderung des θ Winkels ist durch die Verlagerung des beweglichen Arms gemacht, auf dem der Detektor zusammengehörig ist. Die Änderung wird auf einem gradierten Kreis gelesen, der dieselbe Achse wie der Streuzielzylinder hat.

Die gestreute Strahlung γ' fällt auf das Fenster des Detektors, wo sie durch entweder äußeren lichtelektrischen Effekt Elektronen, oder durch Compton Effekt Rückstoß-Elektronen, erzeugt. Sie sind entweder Photoelektronen mit der gesamten Energie $E_{\gamma'}$, oder Rückstoßelektronen erschienen durch Compton Effekt auf der Atome den NaI Kristall des Detektors. Die im Kristall verbreitende Energie verwandelt sich teilweise in Lichtfunkeln, die sich in elektrische Pulse von Spannung U_d verwandeln. Jeder Puls ist proportional zu der Energie $E_{\gamma'}$.

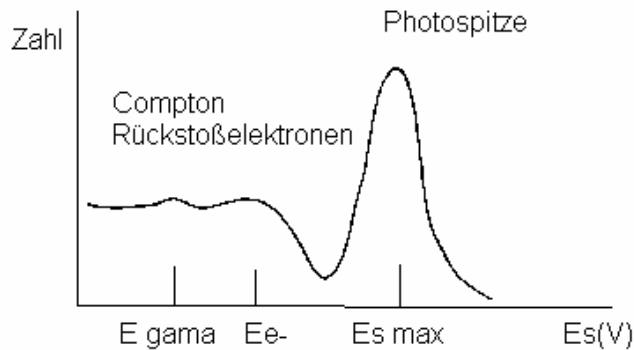
Die Ausführung des Experiments

Der Professor soll anwesend sein, wenn der Student die Geräte einschaltet. Man setzt den Detektor unter einen Winkel von $\theta=0^\circ$ in Bezug zu der Richtung der einfallenden Strahlen. Auf dieser Art und Weise trägt der Detektor nur die Strahlung ein, die dieselbe Wellenlänge hat wie die einfallende Strahlung.

1. Für einen konstanten Wert der Breite $\Delta E_s = 0,1\text{V}$ der Energieschwelle E_s den Monokanalanalysator trägt man die erhaltene Zahl der Pulse ein. Sie wird von dem

elektronischen Zähler bezüglich zur Energieschwelle E_s (die mit 0,2 V, und in der Nähe der Spitze mit 0,1V konstant ansteigt) eingegeben.

Man skizziert auf Millimeterpapier die Abhängigkeit der Zahl von Pulse bezüglich zur Energieschwelle des Monokanal-Analysators. Es sieht wie in dem folgenden Bild aus:



Der erste Abschnitt der graphischen Darstellung mit der E_{gama} Spitze entspricht der Rückverbreitungsspitze die sich den Quanten verdankt, die ursprünglich an keine Wechselwirkung mit dem Detektor teilnehmen und die eine Compton Verbreitung von 180° ertragen und dann weiter in den Kristall zurückkommen und detektiert werden. Die E_e Spitze verdankt sich den Rücklaufcomptonelektronen, die in dem Kristall von NaI durch die Compton Verstreuung der γ' Strahlung auf die freien Elektronen des Kristalls enthalten werden. E_e entspricht der maximalen Energie der Rücklaufelektronen.

Der zweite Abschnitt des Graphen ist von Interesse in dieser Arbeit und er enthält eine hervorgehobene Photospitze $E_{s \text{ max}}$, die sich der gesamten Absorption der Energie E_γ der Photoelektronen verdankt, Photoelektronen die, durch den lichtelektrischen Effekt enthalten werden.

Die energetische Eichung des Monokanalanalysators finden Sie hier am Ende der Arbeit.

Die Eichungsgerade des Spektrums erlaubt die Feststellung der Energie jeder unbekannter Ausstrahlung, wenn man ihre Zahl der Pulse bezüglich zur Energieschwelle $E_{s \text{ max}}$ kennt.

2. Dafür bringt man den Detektor an den Winkel $\theta = 20^\circ$ an, wiederholt die Messungen der Zahl der Pulse wie zuvor und zeichnet die neue Abhängigkeit der Zahl

der Pulse bezüglich zur Energieschwelle. Man sucht auf der Kurve die Spitze der Energie $E_{s \max}$ und durchführt sie mit einer senkrechten Gerade. Im Treffpunkt mit der Eichungsgerade zeichnet man eine wagerechte Gerade bis sie die Energie-Achse trifft. Dort liest man die Energie der gestreuten $E_{\gamma'}$ Strahlen.

3. Man wiederholt die Messungen der Zahl der Pulse wie bei (2) für Winkel mit $\theta = 40^\circ, 60^\circ, 100^\circ$ und mit Hilfe der Eichungsgerade findet man die anderen Werte der Energie gestreuten γ' Strahlen.

4. Man berechnet aus der Gleichung: $\lambda' = \frac{hc}{E_{s \max}}$

die unbekanntenen Wellenlängen λ' . Man berechnet ebenso die Wellenlängeverschiebung $\Delta\lambda = \lambda - \lambda'$

und alles wird in eine Tabelle eingetragen wie folgt.

Es(V)	$\theta=0^\circ$	$\theta=20^\circ$	$\theta=40^\circ$	$\theta=60^\circ$	$\theta=100^\circ$
	Zahl	Zahl	Zahl	Zahl	N Zahl
0					
0,2					
0,4					
0,6					
0,8					
.....					

θ	$E_{s \max}$ (V)	$E_{\gamma'}$ (MeV)	λ' (Å)	$\Delta\lambda$ (Å)
0°				
20°				
40°				
60°				
100°				

5. Man zeichnet auf Millimeterpapier die Gerade $\Delta\lambda = f(1 - \cos\theta)$. Man berechnet ihre Neigung und vergleicht sie mit dem theoretischen Wert $h / m_0c = 0,0242$ Å.

Die folgenden Konstanten sind bekannt: $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ Js; $m_0 = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg; $c = 3 \cdot 10^8$ m/s

