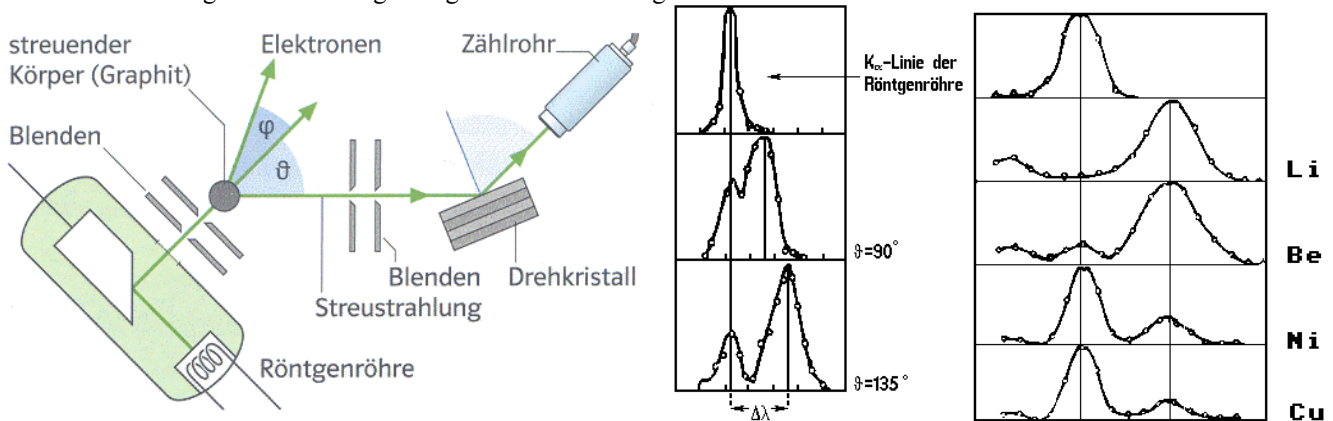
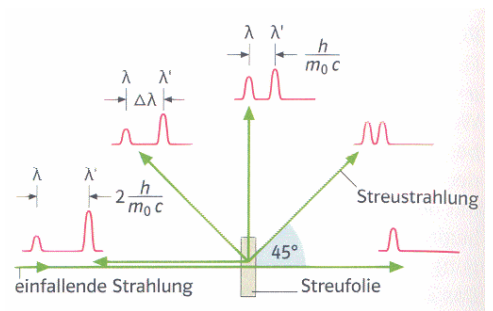


Compton-Effekt

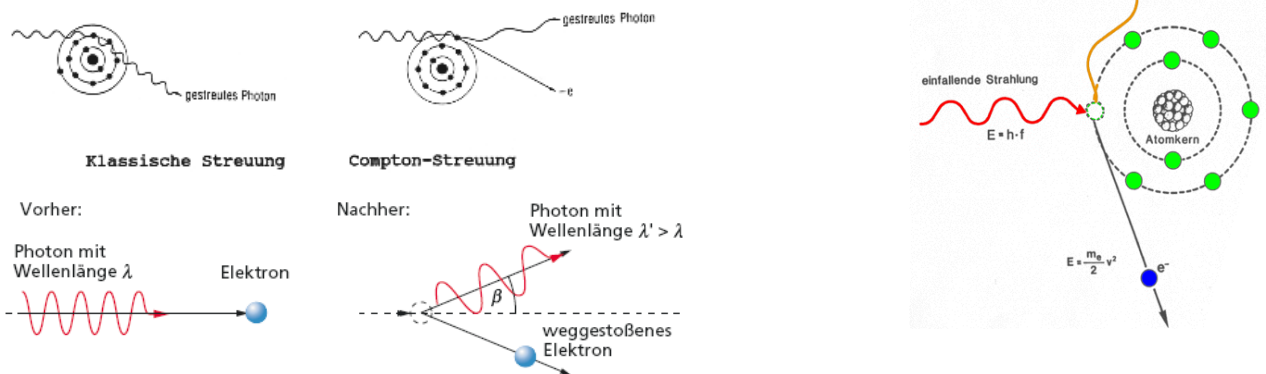
- Seit 1895 Untersuchungen an Röntgenstrahlungen, insb. Streuexperimente
- **Versuchsbeschreibung** von COMPTON 1923:
 - Streuung von Röntgenstrahlung an Graphit
 - Messung der Wellenlänge der gestreuten Strahlung mit der BRAGG'SCHEN Drehkristallmethode



- **Versuchsergebnisse:**
 - In der Streustrahlung tritt neben der Wellenlänge λ der ursprünglichen Strahlung der Röntgenröhre noch die größere Wellenlänge λ' auf.
 - Je größer der Streuwinkel, desto größer der Wellenlängenunterschied $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$
 - Der Wellenlängenunterschied $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$ hängt nicht von der Wellenlänge des Röntgenphotons ab, sondern nur von dem Streuwinkel.
 - Je größer der Streuwinkel, desto höher die Intensität der Strahlung mit Wellenlänge λ' und desto niedriger die Intensität der Strahlung mit Wellenlänge λ
 - Bei gleichem Winkel ist der Wellenlängenunterschied nicht vom Streukörper abhängig.



- **Erklärung des Effekts** 1922 von ARTHUR HOLLY COMPTON (1892–1962) (1927 dafür den Nobelpreis für Physik)



- Graphit enthält Elektronen mit vernachlässigbarer Austrittsarbeit. Die Elektronen sind frei oder lose gebunden.
- Es treten zwei Wechselwirkungen zwischen den Photonen und dem Graphit auf:

Wellenlänge λ	Wellenlänge λ'
Das Photon trifft auf das Atom wie ein Ball auf eine starre Wand. Es wird dabei abgelenkt, behält aber seine Energie. Frequenz und Wellenlänge werden nicht verändert.	Das Photon trifft auf ein im Graphit fast frei bewegliches Elektron. Beim Stoß wird das Photon abgelenkt und es wird Energie und Impuls übertragen. Die Frequenz des Photons nimmt ab, seine Wellenlänge zu.

- Je größer die Richtungsänderung des Photons ist, umso mehr nimmt seine Wellenlänge zu, also seine Energie und sein Impuls ab. Man kann sich die Streuung als elastischen Stoß vorstellen.

Wellenlängenzunahme: $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \beta)$

Comptonwellenlänge: $\lambda_c = \frac{h}{m_e c} = 2,4263106 \text{ pm}$

Herleitung: Comptonwellenlänge für $\beta = 180^\circ$ (nicht-relativistisch)

	Vor dem Stoß		Nach dem Stoß	
	Energie	Impuls	Energie	Impuls
Elektron	$E_e = 0$	$p_e = 0$	$E'_e = \frac{1}{2} m_e v'^2$	$p'_e = m_e v'$
Photon	$E_{ph} = hf$	$p_{photon} = \frac{h}{\lambda} = \frac{hf}{c}$	$E'_{ph} = hf'$	$p'_{photon} = -\frac{h}{\lambda'} = -\frac{hf'}{c}$

Änderung der Wellenlänge: $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda \Rightarrow \lambda' = \Delta\lambda + \lambda$

EES: $E_e + E_{ph} = E'_e + E'_{ph} \Rightarrow hf = \frac{1}{2} m_e v'^2 + hf'$

IES: $p_e + p_{ph} = p'_e + p'_{ph} \Rightarrow \frac{hf}{c} = m_e v' - \frac{hf'}{c} \Rightarrow m_e v' = \frac{hf}{c} + \frac{hf'}{c} = \frac{h}{c} (f + f')$
 $\Rightarrow v' = \frac{h}{m_e c} (f + f')$

Einsetzen in EES: $hf = \frac{1}{2} m_e \frac{h^2}{c^2 m_e^2} (f + f')^2 + hf' = \frac{h^2}{2c^2 m_e} (f + f')^2 + hf'$

$$\Rightarrow hf - hf' = \frac{h^2}{2c^2 m_e} (f + f')^2 \Rightarrow f - f' = \frac{h}{2c^2 m_e} (f + f')^2$$

$$f = \frac{c}{\lambda} \Rightarrow \frac{c}{\lambda} - \frac{c}{\lambda'} = \frac{h}{2c^2 m_e} \left(\frac{c}{\lambda} + \frac{c}{\lambda'} \right)^2 \Rightarrow c \left(\frac{\lambda' - \lambda}{\lambda \lambda'} \right) = \frac{hc^2}{2c^2 m_e} \left(\frac{\lambda + \lambda'}{\lambda \lambda'} \right)^2$$

$$\Rightarrow \frac{\lambda' - \lambda}{\lambda \lambda'} = \frac{h}{2m_e c} \frac{(\lambda + \lambda')^2}{(\lambda \lambda')^2}$$

$$c \Rightarrow \lambda' - \lambda = \frac{h}{2m_e c} \frac{(2\lambda + \Delta\lambda)^2}{\lambda(\lambda + \Delta\lambda)}$$

$$\Delta\lambda \ll \lambda \Rightarrow \lambda' - \lambda = \frac{h}{2m_e c} \frac{(2\lambda)^2}{\lambda(\lambda)} = \frac{2h}{m_e c}$$

Beliebiger Winkel \Rightarrow

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \beta)$$

$$\beta = 180^\circ \Rightarrow \cos(180^\circ) = -1 \Rightarrow \lambda' - \lambda = \frac{2h}{m_e c}$$

\Rightarrow maximale Wellenlängenvergrößerung

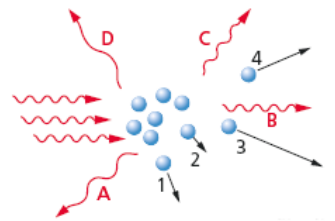
Comptonwellenlänge:

$$\lambda_c = \frac{h}{m_e c} = 2,4263106 \text{ pm}$$

- ist eine Konstante, die von der Masse des Elektrons abhängt.

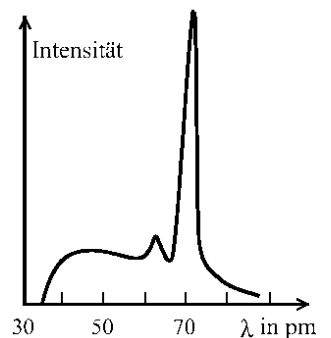
Aufgaben zum Compton-Effekt

- Ein Photon habe eine Wellenlänge, die gerade genauso groß ist wie die COMPTON-Wellenlänge. Es trifft auf Elektronen. Dabei beträgt die Richtungsänderung des Photons gerade 90° . Welche Wellenlänge und welche Energie hat das gestreute Photon?
- Wie groß muss der Streuwinkel beim Compton-Effekt sein, damit es zu einer Verdopplung der Wellenlänge der einfallenden Röntgenstrahlung kommt?
- Wie groß ist die maximale Wellenlängenänderung beim Compton-Prozess?
- Wie groß ist die Masse eines Photons mit der Comptonwellenlänge?
- Warum ist der Compton-Effekt bei Verwendung weicher Röntgenstrahlung nur schwer nachzuweisen?
- Warum bemerkt man beim sichtbaren Licht keinen Effekt, der dem Compton-Effekt entspricht?
- Röntgenquanten gleicher Wellenlänge stoßen auf ruhende Elektronen (siehe Abbildung)
 - Kennzeichnen Sie die Paare (Elektron; Röntgenquant), die jeweils zusammengehören.
 - Ergänzen Sie: „Je zentraler das Röntgenquant auf das Elektron trifft, desto ...“
Gehen Sie dabei darauf ein, wie viel Energie und Impuls vom Röntgenquant auf das Elektron übergeht und wie sich das auf die Wellenlänge des Röntgenquants auswirkt.
- Welche Energie wurde bei einem Compton-Prozess an die Elektronen abgegeben, wenn die Frequenz der gestreuten Strahlung $f = 0,99 \cdot 10^{19} \text{ Hz}$ und die der ursprünglichen Strahlung $f = 1,00 \cdot 10^{19} \text{ Hz}$ beträgt?
- Gammaquanten radioaktiver Präparate rufen ebenso den Compton-Effekt hervor wie Röntgenquanten. Welche Energie geben Photonen von $E = 1,2 \text{ MeV}$ an Elektronen ab, wenn sie um 180° zurückgestreut werden?
- Beim COMPTON-Effekt wird die einfallende Strahlung ($\lambda = 71,3 \text{ pm}$) um 90° abgelenkt. Berechnen Sie die zu erwartende Wellenlängenänderung, die Energie und den Impuls der abgelenkten Strahlung. Ermitteln Sie auch die Geschwindigkeit und den Streuwinkel des wegfliegenden Elektrons, das als zunächst ruhend angenommen wird.

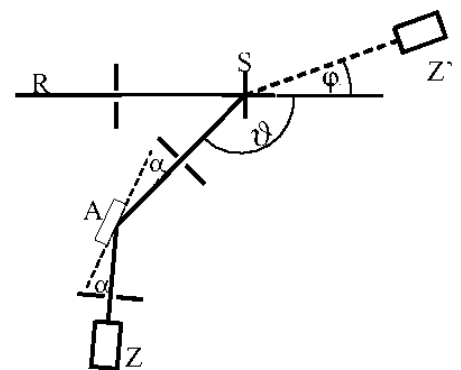


11) Abi LK Bayern: Röntgenstrahlung und Comptoneffekt

Zur Untersuchung des Compton-Effekts wird die Strahlung einer Röntgenröhre verwendet, die das abgebildete Spektrum besitzt. Aus der Strahlung dieser Röntgenröhre wird durch ein geeignetes Filter ein Röntgenstrahl R der Wellenlänge $\lambda = 70,9 \text{ pm}$ ausgesondert. Dieser Strahl trifft auf den Streukörper S aus Graphitfolie. Die spektrale Verteilung der unter dem Winkel $\vartheta = 133,6^\circ$ gestreuten Photonen wird nach dem Drehkristallverfahren mit dem Analysatorkristall A und dem Zähler Z gemessen. A ist ein Kochsalz-Einkristall mit der Gitterkonstanten $d = 0,282 \text{ nm}$. α ist der am Analysatorkristall eingestellte Glanzwinkel.



- Berechnen Sie die angelegte Röhrenspannung und bestimmen Sie das Anodenmaterial.
- Berechnen Sie den kleinsten Glanzwinkel α_C für die Comptongestreuerten Photonen.
- Außer bei α_C wird vom Analysator auch beim Glanzwinkel $\alpha_B = 7,22^\circ$ ein Intensitätsmaximum registriert. Erklären Sie sein Zustandekommen.
- Das beim Compton-Effekt gleichzeitig auftretende Streuelektron kann unter dem Winkel φ mit dem Zähler Z' nachgewiesen werden. Energieverluste dieses Elektrons im Streukörper sollen außer Betracht bleiben. Berechnen Sie (nicht-relativistisch) die kinetische Energie E dieses Elektrons in eV und den Winkel φ . [zur Kontrolle: $E = 956 \text{ eV}$]
- In welchem Abstand von der Probe S muss sich Z' befinden, damit Photon und Elektron gleichzeitig registriert werden, wenn das Photon von S nach Z einen Weg von $2,00 \text{ m}$ zurücklegt?
- Ändern sich die Winkel α_C und α_B , unter denen Intensitätsmaxima auftreten, wenn der Streuwinkel ϑ verkleinert wird bzw. wenn als Streumaterial Kupfer statt Graphit verwendet wird? Geben Sie gegebenenfalls auch an, ob sich die Winkel vergrößern oder verkleinern. Begründen Sie jeweils Ihre Antwort.



Compton-Effekt

Quellen:

Grehn, Krause: „Metzler Physik“. Schroedel, 2000.

Autorenkollektiv: „Impulse Physik. Oberstufe“. Klett, 2007.

Meyer, Schmidt: „Physik. Gymnasiale Oberstufe“. Paetec, 2006.

Kuhn: „Physik 2“. Westermann, 2000.

URL: <http://www-linux.gsi.de/~wolle/TELEKOLLEG/ATOM/IMAGES/compton-effekt.gif> [07.01.2007]

URL: <http://www.rad.rwth-aachen.de/lernprogramm/streuung.gif> [07.01.2007]

URL: http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph12/materialseiten/m09_quanten.htm [07.01.2007].

Links zum Thema:

http://www.roro-seiten.de/physik/quanten/photonen/comptoneffekt_-_experiment.html

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/cuantica/compton/Compton.htm> (Applet)

<http://www.grimmels.de/physik/index.html>

http://www.physicsmasterclasses.org/exercises/erlangen/de/sm_ww/sm_ww_elm3.html (Applet)

http://www.student.nada.kth.se/~f93-jhu/phys_sim/compton2/Compton.htm (Applet)