

Atom- und Kernphysik

Röntgenstrahlung

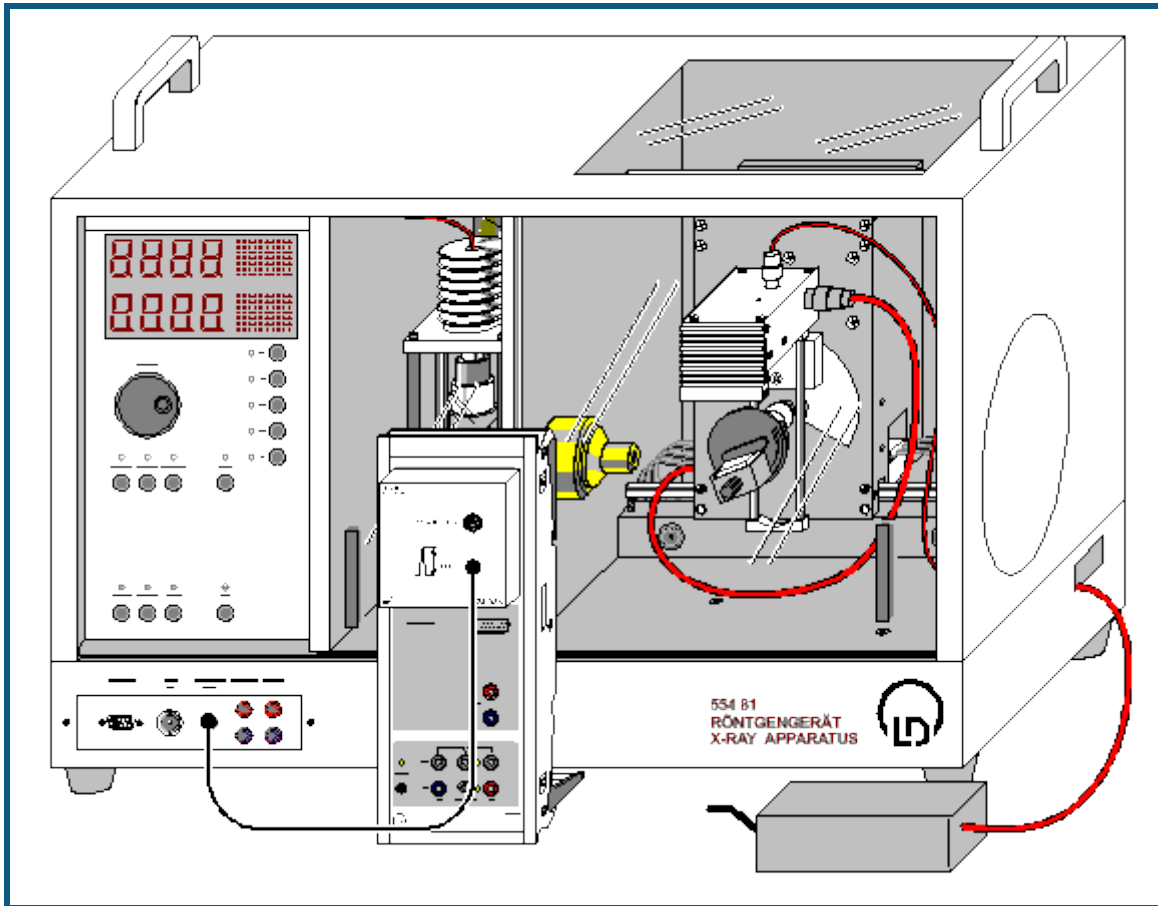
Compton-Effekt an Röntgenstrahlung

Compton-Effekt: Messung der Energie der gestreuten Photonen in Abhängigkeit vom Streuwinkel

Beschreibung aus CASSY Lab 2

Zum Laden von Beispielen und Einstellungen bitte die CASSY Lab 2-Hilfe verwenden.

Compton-Effekt an Röntgenstrahlung



 auch für [Pocket-CASSY](#) geeignet

Sicherheitshinweise

Das Röntgengerät erfüllt die Vorschriften über die Bauart einer Schulröntgeneinrichtung und eines Vollschutzgeräts und ist als Schulröntgengerät und Vollschutzgerät unter BfS 05/07 V/Sch RöV oder NW 807 / 97 Rö bauartzugelassen.

Durch die werksseitig eingebauten Schutz- und Abschirmvorrichtungen ist die Dosisleistung außerhalb des Röntgengeräts auf unter $1 \mu\text{Sv/h}$ reduziert, einen Wert, der in der Größenordnung der natürlichen Strahlenbelastung liegt.

- Vor der Inbetriebnahme das Röntgengerät auf Unversehrtheit überprüfen und das Abschalten der Hochspannung bei Öffnen der Schiebetüren kontrollieren (siehe Gebrauchsanweisung zum Röntgengerät).
- Röntgengerät vor dem Zugriff Unbefugter schützen.

Eine Überhitzung der Anode in der Röntgenröhre ist zu vermeiden.

- Bei Einschalten des Röntgengeräts überprüfen, ob sich der Lüfter im Röhrenraum dreht.

Das Goniometer wird ausschließlich über elektrische Schrittmotoren verstellt.

- Targetarm und Sensorarm des Goniometers nicht blockieren und nicht mit Gewalt verstellen.

Versuchsbeschreibung

Beim Durchgang durch Materie wird ein Teil der Röntgenstrahlung gestreut. Nach klassischer Vorstellung sollte sich dabei die Frequenz der Strahlung nicht ändern. Der amerikanische Physiker A.H. Compton beobachtete 1923 jedoch bei einem Teil der gestreuten Strahlung eine Verminderung der Frequenz.

Zur [Erklärung](#) muss der ganze Streuprozess quantenphysikalisch behandelt und die Röntgenstrahlung z. B. im Teilchenbild betrachtet werden. Außerdem wird angenommen, dass die streuenden Elektronen frei sind, was für die äußeren Elektronenschalen der Atome bei Energien im Bereich der Röntgenstrahlen eine gute Näherung ist. Somit trifft bei einem Streuprozess ein Photon der Frequenz ν_1 , also mit der Energie $E_1 = h \cdot \nu_1$, auf ein ruhendes freies Elektron der Ruhemasse m_0 . Das Photon wird dabei um den Winkel ϑ gestreut.

Compton berechnete nun unter der Voraussetzung von Energie- und Impulserhaltung die Energie E_2 der gestreuten Strahlung zu

$$E_2 = E_1 / \left(1 + \frac{E_1}{m_0 c^2} (1 - \cos \vartheta) \right).$$

Im Versuch werden die Untersuchungen von Compton an einem Streukörper aus Plexiglas wiederholt und ihre Ergebnisse mit der obigen Gleichung verglichen. Zur Spektromaufnahme wird der Röntgenenergiedetektor eingesetzt.

Benötigte Geräte

1	Sensor-CASSY	524 010 oder 524 013
1	CASSY Lab 2	524 220
1	VKA-Box	524 058
1	Röntgengerät mit Röntgenröhre Mo	554 801 oder 554 811
1	Comptonzusatz Xray II	554 8371 oder 554 837
1	Röntgenenergiedetektor	559 938
1	HF-Kabel, 1 m	501 02
1	PC mit Windows XP/Vista/7/8	

Versuchsaufbau (siehe Skizze)

- Zr-Filter (aus Lieferumfang des Röntgengeräts) auf die Strahleintrittsseite des Kreiskollimators (aus dem Lieferumfang des Comptonzusatzes Xray II) stecken
- Kreiskollimator in der Kollimatoraufnahme des Röntgengerätes montieren
- Anschlusskabel des Tischnetzgerätes durch den Leerkanal des Röntgengerätes führen und an die Mini-DIN-Buchse des Röntgenenergiedetektors anschließen
- Sensorhalter mit montiertem Röntgenenergiedetektor im Sensorarm des Goniometers befestigen
- Signalausgang des Röntgenenergiedetektors mittels mitgeliefertem BNC-Kabel an die BNC-Buchse SIGNAL IN des Röntgengerätes anschließen
- Anschlusskabel soweit nachführen, dass ein vollständiger Schwenk des Sensorarmes möglich ist
- Taster SENSOR drücken und den Sensorwinkel mit Dreheinsteller ADJUST von Hand auf 150° stellen, dazu das Goniometer ggf. weiter nach rechts schieben
- Abstand des Röntgenenergiedetektors zur Drehachse so wählen, dass das Detektorgehäuse bei diesem Sensorwinkel den Röntgenstrahl gerade nicht verdeckt
- Goniometer anschließend so weit nach links schieben, dass das Detektorgehäuse den Kreiskollimator gerade nicht berührt (ca. 8 cm Abstand zwischen Kreiskollimator und Drehachse)
- Sensor-CASSY an Computer anschließen und VKA-Box aufstecken
- Ausgang SIGNAL OUT im Anschlussfeld des Röntgengerätes mittels BNC-Kabel mit VKA-Box verbinden


Versuchsvorbereitung

■ Einstellungen laden


- Tischnetzgerät ans Netz anschließen (nach ca. 2 min leuchtet die Leuchtdiode "grün" und der Röntgenenergiedetektor ist betriebsbereit)

Für eine genaue Messung der kleinen Energieverschiebungen muss berücksichtigt werden, dass sich die Kalibrierung des Röntgenenergiedetektors bei hohen Zählraten geringfügig verschiebt. Deshalb ist hier eine Beschränkung auf Zählraten bis 200 /s sinnvoll.

Abschätzung der Zählrate in Streuanordnung:

- Plexiglas-Streukörper auf Targettisch legen und festklemmen
- Taster TARGET drücken und den Targetwinkel mit Dreheinsteller ADJUST von Hand auf 20° stellen
- Röhren-Hochspannung $U = 35$ kV, Emissionsstrom $I = 1,00$ mA einstellen und Hochspannung einschalten
- Spektromaufnahme mit  starten
- Sensorwinkel langsam zwischen 150° und 30° variieren und jeweils oben rechts im CASSY Lab-Fenster die gesamte Zählrate ablesen
- Emissionsstrom reduzieren, falls die gesamte Zählrate 200 /s wesentlich überschreitet

Anpassung der Zählrate des Primärstrahls:

- Targethalter mit dem Targettisch ausbauen und Sensor in 0°-Position bringen
- Abschwächerblende auf den Kreiskollimator setzen und sorgfältig ausrichten (mit den Schrauben nach oben und unten weisend)
- Emissionsstrom auf 0,1 mA reduzieren und Hochspannung einschalten
- Spektromaufnahme mit  starten

- In $0,1^\circ$ -Schritten um 0° den Sensorwinkel suchen, bei dem die Gesamtzählrate nur wenig über den in Streuanordnung gemessenen Zählraten liegt (ggf. den Emissionsstrom leicht verändern)



Falls keine oder nur geringe Zählrate zu messen ist:

- Ausrichtung der Abschwächerblende überprüfen (mit den Schrauben nach oben und unten weisend, eventuell um 180° drehen)

Versuchsdurchführung

Die zu messende Röntgenstrahlung erzeugt im Gehäuse der Si-PIN-Photodiode des Röntgenenergie-detektors zusätzlich Röntgenfluoreszenzstrahlung, die ebenfalls registriert wird. Im Primärspektrum sind daher neben der Mo K_α - und der Mo K_β -Linie auch die Au L_α - und die Au L_β -Linie zu erwarten. Mit Hilfe dieser Linien kann die Energiekalibrierung der Spektren durchgeführt werden.

■ Einstellungen laden

- Mit  Primärspektrum (0° -Position) aufnehmen
- Anschließend in den [Einstellungen EA](#) (rechte Maustaste) die [Energiekalibrierung](#) öffnen, **Global für alle Spektren auf diesem Eingang** wählen und rechts die Energien der Au L_α -Linie (9,72 keV) und der Mo K_α -Linie (17,48 keV) eintragen.
- Im Kontext-Menü des Diagramms [Peakschwerpunkt berechnen](#) auswählen, die Au L_α -Linie (kleiner Peak links neben der ebenfalls kleinen Au L_β -Linie) markieren und das Ergebnis links in die [Energiekalibrierung](#) eintragen (z. B. mit Drag & Drop aus der Statuszeile)
- Anschließend den Schwerpunkt der Mo K_α -Linie (großer Peak) bestimmen und ebenfalls links eintragen
- Darstellung auf Energie umschalten (z. B. mit Drag & Drop von E_A ins Diagramm)
- Abschwächerblende entfernen
- Targethalter mit Targettisch auf Goniometer montieren
- Plexiglas-Streukörper auflegen und festklemmen
- Emissionsstrom $I = 1,00$ mA (bzw. den zuvor bei der Abschätzung der Zählrate ermittelten Emissionsstrom) einstellen und Hochspannung einschalten
- Targetwinkel auf 20° und Sensorwinkel auf 30° stellen
- Mit  ein neues Spektrum (30° -Position) aufnehmen
- Anschließend bei konstantem Targetwinkel weitere Spektren für die Sensorwinkel 60° , 90° , 120° und 150° aufnehmen

Auswertung

Die Energie der gestreuten Strahlung verkleinert sich mit wachsendem Streuwinkel. Die Intensität der gestreuten Strahlung ist bei $\vartheta = 90^\circ$ an kleinsten.

Zur weiteren Auswertung kann der Bereich um die gestreuten Peaks [gezoomt](#) und für jeden energieverschobenen Peak [Peakschwerpunkt berechnen](#) gewählt werden. Ab einem Streuwinkel von $\vartheta = 90^\circ$ reicht die Energieauflösung des Detektors zur Trennung des unverschobenen Peaks (elastische Streuung an stark gebundenen Elektronen) und des verschobenen Peaks (inelastische Streuung an quasi freien Elektronen) aus. Für die Bestimmung des Peakschwerpunkts sollte nur der Bereich des energieverschobenen Peaks markiert werden.

Für jeden Peakschwerpunkt wird dessen Energie zusammen mit seinem Streuwinkel in die Darstellung **Auswertung** übertragen. Die Energie kann dabei mit der Maus (Drag & Drop) aus der Statuszeile in die Tabelle gezogen werden. Der Winkel muss manuell in die Tabelle eingetragen werden.

Zum Vergleich der gemessenen Energien mit den aus Energie- und Impulserhaltung berechneten Energien kann in der Darstellung **Auswertung** eine [freie Anpassung](#) der Gleichung

$$17,48 / (1 + 17,48 * (1 - \cos(x)) / A)$$

mit dem Startwert $A = 511$ (=konstant) gewählt werden.

Das Resultat entspricht der theoretischen Kurve mit den Parametern $E_1 = 17,48$ keV und $m_0 \cdot c^2 = 511$ keV, die mit den Messwerten gut übereinstimmt.

Beim Durchgang durch Materie wird ein Teil der Röntgenstrahlung gestreut und erfährt dabei eine Energieverschiebung (Compton-Effekt). Die Energieverschiebung kann berechnet werden, indem man den Streuvorgang als Stoß zwischen einem Röntgenphoton und einem ruhenden freien Elektron beschreibt und für diesen Stoßvorgang die Erhaltung von Energie und Impuls verlangt.

Hinweis

Der Vergleich zwischen Messung und Theorie kann alternativ auch als Anpassung mit dem freien Anpassungsparameter A (der Ruhemasse des Stoßpartners der Röntgenphotonen) durchgeführt werden. Als Ergebnis erhält man

einen Wert für den Parameter A, der in guter Näherung mit der Ruhemasse eines ruhenden freien Elektrons ($m_0 \cdot c^2 = 511 \text{ keV}$) übereinstimmt.