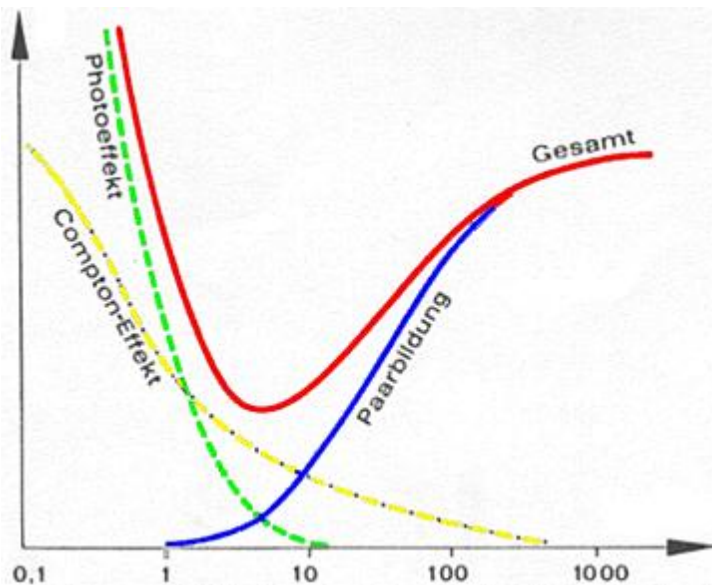


# Stundenprotokoll vom 9.12.2011: Compton -Effekt

Zunächst beschäftigten wir uns mit den einzelnen Graphen des Photoeffekts (grün), des Compton-Effekts (gelb) und mit der Paarbildung (blau). Anschließend betrachteten wir die Kurve für die Gesamtabsorption (rot).



**Photoeffekt**  $\sim Z^4 \cdot E^{-3}$

**Compton-Effekt**  $\sim Z^2 \cdot f(E) \rightarrow$  fallend

**Paarbildung**  $\sim Z^2 \cdot \ln(E)$

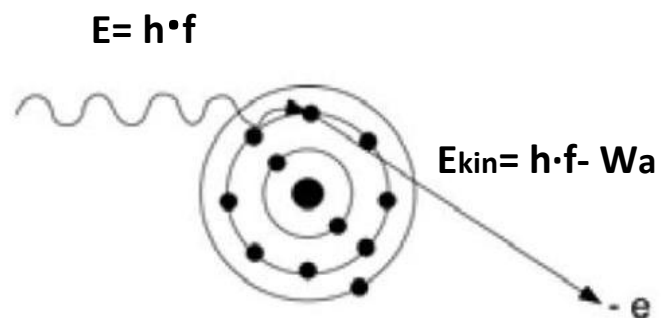
**Gesamtabsorption**

Z= die Kernladungszahl

## Kurze Zusammenfassung

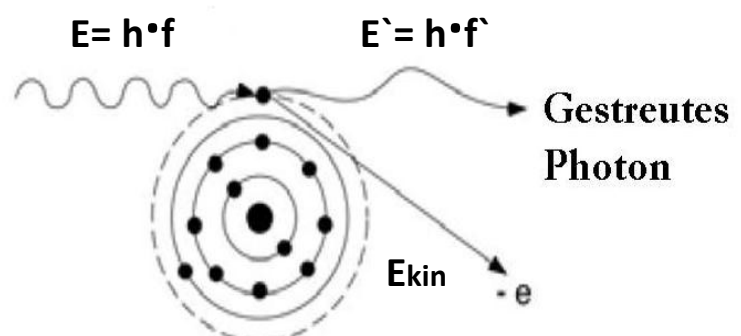
### Photoeffekt:

Beim Photoeffekt wird das Photon von einem Atom absorbiert und ein Elektron wird aus der Hülle gelöst. Die emittierte Energie **E** ist gleich der Energie  $E'$ .



### Compton-Effekt:

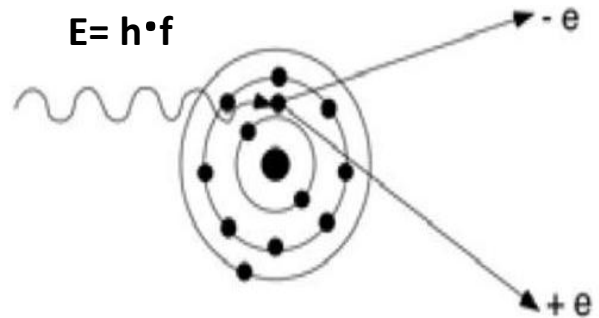
Beim Compton-Effekt wird das Photon an einem Elektron gestreut. Das Photon gibt einen Teil seiner Energie



an das Elektron ab, was zur Folge hat, dass sich die Wellenlänge  $\lambda$  des gestreuten Photons vergrößert und sich durch seinen Impuls auch die Richtung ändert. Das Elektron hat an kinetischer Energie gewonnen.

### Paarbildung:

Wenn die Energie des Photons größer ist als die zweifache Ruheenergie  $E = 2m_e c^2 = 1,02 \text{ MeV}$  des Elektrons, so findet Paarerzeugung statt, das heißt, dass das Photon ein Elektronen-Positron-Paar erzeugt.



### Positron:

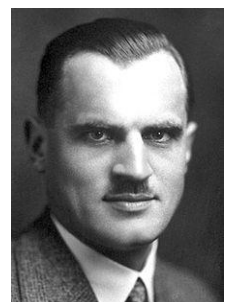
- Ist Elementarteilchen aus der Gruppe der Leptonen
- Sein Symbol ist  $e^+$
- Ist Antiteilchen des Elektrons  $\rightarrow$  bis auf das Vorzeichen stimmen alle Eigenschaften des Positrons mit dem emittierten Elektron überein z.B. die elektrischen Ladung
- Entstehung: beim Zerfall positiver Myonen; Paarbildung  $\rightarrow$  Wechselwirkung harter Gammastrahlung mit Materie

Bei der Paarerzeugung entsteht neben dem Positron auch ein negativ geladenes Elektron.

### Compton- Effekt

Der Compton-Effekt benannt nach seinem Entdecker Arthur Holly Compton

- \*10. September 1892 in Wooster, Ohio
- † 15. März 1962 in Berkeley, Kalifornien
- war ein US-amerikanischer Physiker und Nobelpreisträger



Trifft Licht auf ein freies Elektron, so stellt man unter einem bestimmten Winkel neben der ursprünglichen Wellenlänge eine Streustrahlung mit einer größeren Wellenlänge fest.

**Beispiel:**

Ein Cäsiumpräparat ( $E_\gamma = 662 \text{ keV}$ ) wird um  $60^\circ$  gestreut. Berechne die Energie des gestreuten Quants und die des Elektrons.

**Gegeben ist:**

- die emittierte Energie mit  $E_\gamma = 662 \text{ keV}$
- der Streuwinkel mit  $\varphi = 60^\circ$

**Gesucht ist:**

- die Energie des gestreuten Quants
- die Energie des Elektrons

**Gedanke:**

- über die Wellenlängenbestimmung die Energie bestimmen

Arthur Holly Compton beobachtete, dass zusätzlich zu spektral unverschobener Streustrahlung der ursprünglichen Wellenlänge  $\lambda_1$ , noch eine spektral verschobene Komponente der Wellenlänge  $\lambda_2$  auftritt.

Für die Wellenlängenverschiebung  $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$  besteht ein einfacher Zusammenhang mit dem Streuwinkel  $\varphi$ .

$$\Delta\lambda = \lambda c (1 - \cos \varphi) c$$

$$\text{mit } \lambda c = \lambda' - \lambda$$

Umstellen von Formeln zur Bestimmung der Wellenlänge  $\lambda$

$$E = h * f \rightarrow \text{nach } f \text{ aufgelöst ergibt}$$

$$f = \frac{E}{h}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{c}{E/h}$$

$$\lambda' = \lambda + \lambda c$$

$$f' = \frac{c}{\lambda'}$$

$$E'\gamma = h * f' = h * \frac{c}{\lambda'} = h * f \left( \frac{1}{1 + \frac{h*f}{m*c^2}(1 - \cos \varphi)} \right)$$



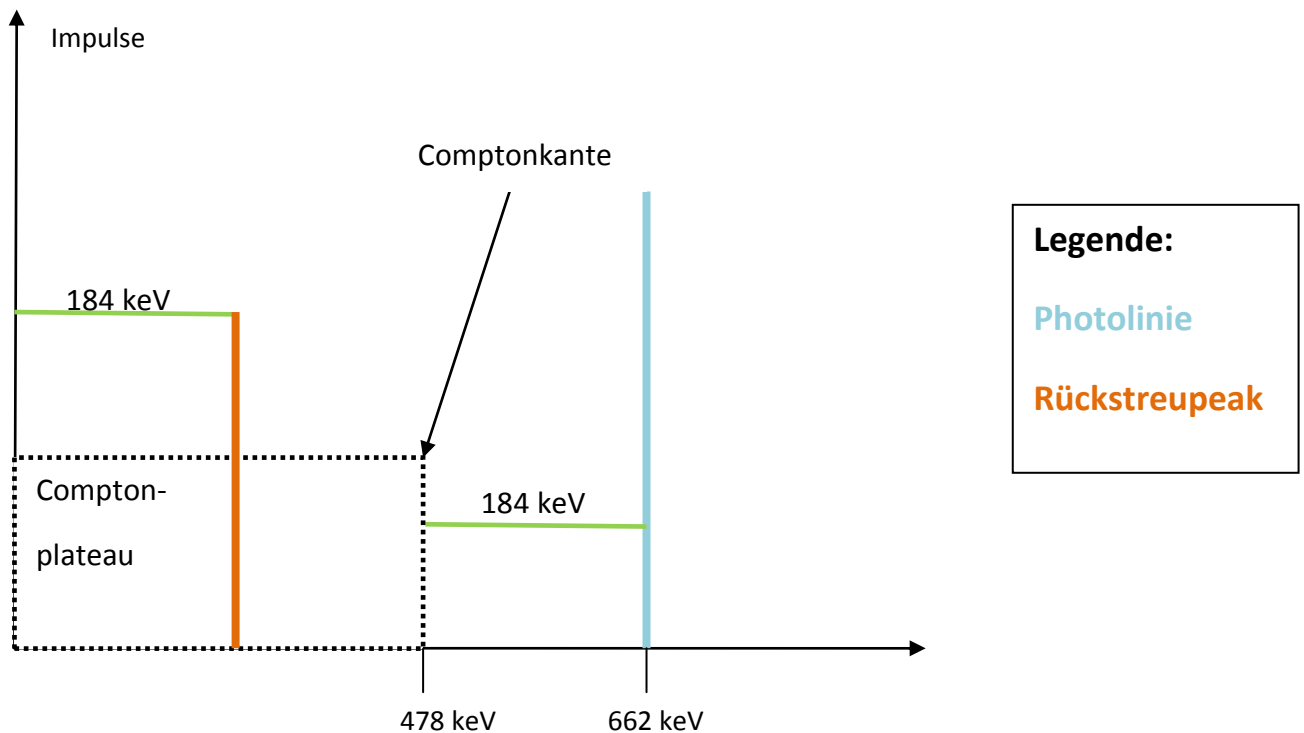
Für gestreutes Photon

$$E_{elektron} = E\gamma - E'\gamma$$

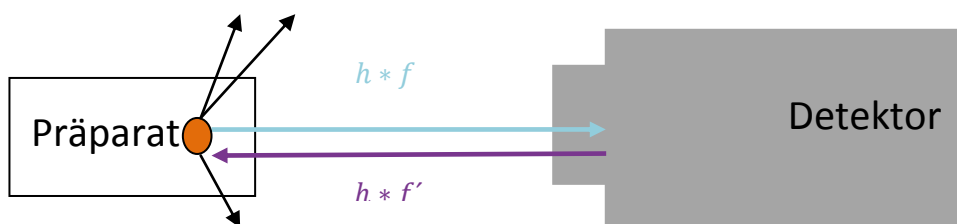
### Energie des Rückstreupeaks

Das Quant überträgt am meisten Energie auf das Elektron, wenn es gerade zurückgestreut wird, wenn also der Streuwinkel  $\varphi$   $180^\circ$  beträgt. Mehr Energie kann durch Compton-Streuung nicht übertragen werden. Daher bricht an diesem Punkt im Energiespektrum die Compton-Verteilung ab, man nennt die Stelle auch Compton-Kante ( siehe Schematische Skizze ).

## Schematische Skizze: Energie des Rückstreupeaks



## Abbildung: Comptonstreuung mit $\varphi = 180^\circ$



Die Streustrahlung hat eine größere Wellenlänge und damit nach

$$c = \lambda * f$$

eine kleinere Frequenz und damit nach

$$E = h * f$$

eine kleinere Energie als die einfallende Strahlung. Das Photon und das Elektron müssen also miteinander in Wechselwirkung getreten sein. Diese

Wechselwirkung lässt sich als elastischer Stoß beschreiben. Dabei kommt das bekannte Teilchenmodell, wie man es aus der Mechanik kennt, zum Tragen. Man kann sich das Photon und das Elektron als Billiardkugeln vorstellen, die zusammenstoßen. Der Impuls- und der Energieerhaltungssatz gelten dann. Das eingestrahelte Photon trifft auf das zunächst ruhende Elektron und gibt im Gegensatz zum Fotoeffekt einen Teil seiner Energie und seines Impuls an das Elektron ab. Das Photon wird dann unter einem bestimmten Winkel gestreut und hat in Abhängigkeit von dem Winkel eine andere Wellenlänge. Man nennt daher diesen Prozess auch Compton-Streuung. Dabei gilt die aus den Erhaltungssätzen hergeleitete Beziehung:

$$\Delta\lambda = \underbrace{\lambda' - \lambda}_{\lambda_C} = \frac{h}{m \cdot c} * (1 - \cos\varphi)$$

Dabei ist  $\varphi$  der Winkel, um den das Photon gestreut wird. Das stimmt mit den Beobachtungen überein, dass der Wellenlängenunterschied mit dem Streuwinkel zunimmt.

$\lambda_C$  bezeichnet man als Compton-Wellenlänge des Elektrons.

$$\lambda_C = \frac{h}{m \cdot c} = 2,43 \times 10^{-12} \text{ m.}$$

Wie man sieht entspricht die Compton-Wellenlänge der Wellenlängenänderung für einen Streuwinkel von  $\varphi = 90^\circ$ . Dort wird der Cosinus Null.

Der Wellenlängenunterschied hängt nicht von der Wellenlänge der verwendeten Strahlung ab, sondern nur von dem Streuwinkel. Damit hängt auch zusammen, dass die Energieänderung mit dem Winkel zunimmt. Oder anders formuliert: An das Elektron wird umso mehr Energie abgegeben je größer der Streuwinkel ist! Denn eine Wellenlängenänderung führt ja auch zu einer Frequenzänderung und damit auch zur Energieänderung.

## Berechnung der Energie des Rückstreupeaks

$$E_{\text{rück}} = E\gamma * \frac{1}{1 + 2 * \frac{E\gamma}{m * c^2}}$$

Durch einsetzen der Werte erhält man

$$E_{\text{rück}} = E\gamma * \frac{1}{1 + 2 * \frac{662\text{keV}}{511\text{keV}}} = 184\text{keV}.$$

Zur Berechnung der maximalen Energie der Elektronen verwendet man folgende Formel

$$E_{\text{kin max}} = E\gamma - E_{\text{rück}}$$

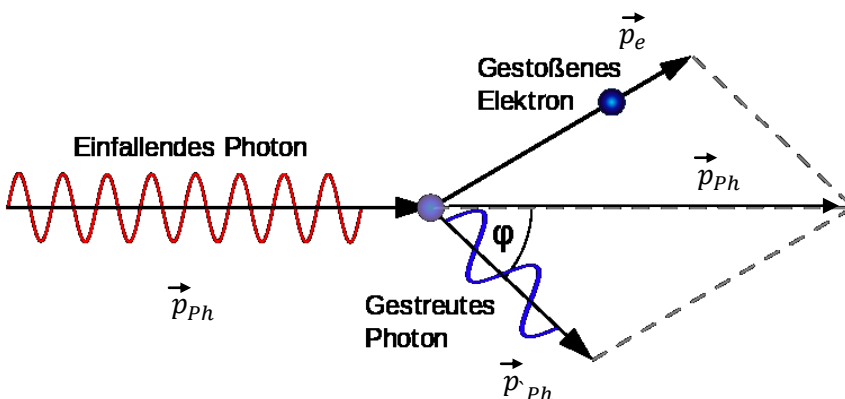
Einsetzen der Werte:

$$E_{\text{kin max}} = 622\text{keV} - 184\text{keV} = 478\text{keV}$$

## Herleitung der Formel

**Brainstorming:**

$$\left. \begin{array}{l} E = \frac{1}{2} m * v^2 \\ p = m * v \end{array} \right\} \begin{array}{l} p = \frac{dE}{dv} \\ E = \int p * d * v \end{array}$$



Dazu schauen wir uns im Buch Seite 381 die Abbildung 381.1 an → Darstellung der Impulse des Photons und des Elektrons vor und nach der Streuung

Die Abbildung stellt die Impulserhaltung dar.

$$\vec{p} = \vec{p}' + \vec{p}_e$$

$$p_e^2 = p'^2 + p^2 - 2 p p' \cos \varphi$$

- Wir suchen  $p'$
- $p_e$  interessiert nicht
- Also weitere Info über  $p$  und  $p'$  und  $p_e$

Die Herleitung wird in der nächsten Stunde fortgesetzt.

Quellen:

- Metzler Physik
- <http://lambda.netscience.de/2010/03/25/compton-effekt>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Compton-Effekt>