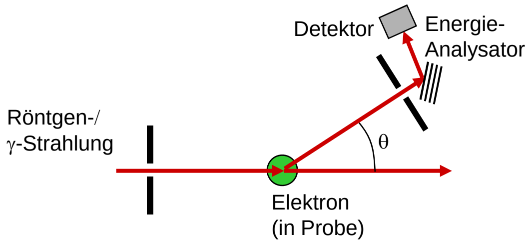
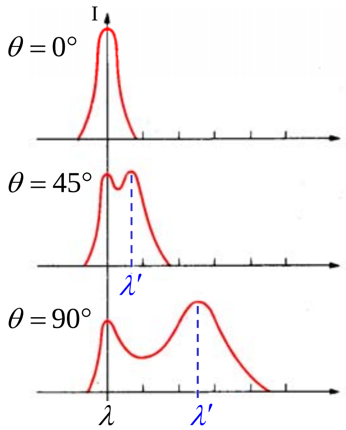
2-2 / 1 Comptoneffekt

Streuung hochenergetischer Photonen an freien Elektronen:





- Experimentelle Beobachtung:

$$\lambda' - \lambda = \lambda_c \cdot (1 - \cos\theta)$$

Compton-Wellenlänge:

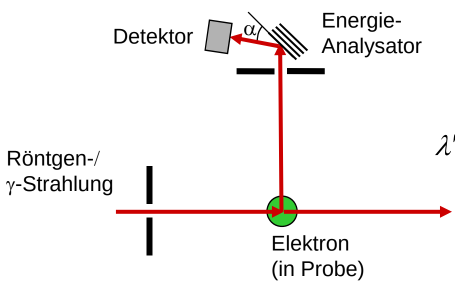
$$\lambda_c = \frac{h}{m_e c} = 2,42631 \cdot 10^{-12}\, m$$

→ Elastischer Stoß Photon-Elektron

2-2 / 2 CT Comptoneffekt

Welche Photonenergie ist am besten für den Nachweis des Compton-Effekts zu verwenden? Gegen Sie dabei von der (realistischen) Annahme aus, dass der Streuquerschnitt für Compton-Streuung nur schwach von der Photonenenergie abhängt.

1. 10 keV bzw. λ = 0.1240 nm
2. 100 keV bzw. λ = 0.0124 nm
3. 1 MeV bzw. λ = 0.0012 nm

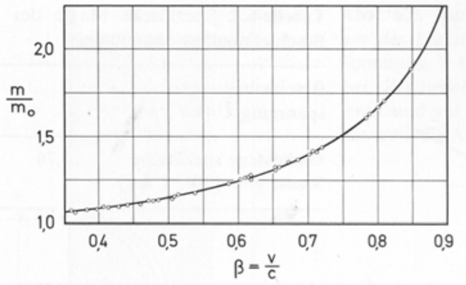


Bragg-Bedingung: $\sin\alpha = \frac{n\lambda}{2d} \approx \lambda / 0.4nm$

$$\lambda' - \lambda = \lambda_c \cdot (1 - \cos 90°) = \lambda_c$$

$$\lambda_c = \frac{h}{m_e c} = 2,42631 \cdot 10^{-12}\, m$$

2-2 / 3 Relativistische Masse, Impuls, Energie



Impuls:

$$\vec{p} = m\vec{v} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}\vec{v}$$

Effektive Masse:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

$m_0 \equiv$ Ruhemasse

Kinetische Energie: $E_{kin} = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} - m_0 c^2 = (m - m_0)c^2$

Ruheenergie: $m_0 c^2$

Gesamtenergie: $E = E_{kin} + m_0 c^2 = mc^2$

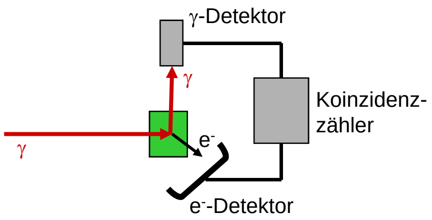
Folgerungen:

- Bez. Energie - Impuls: $E^2 - (p \cdot c)^2 = (m_0 c^2)^2; \quad E = c\sqrt{m_0^2 c^2 + p^2}$
- Photonen ($m_0 = 0$): $E = p \cdot c$

2-2 / 4 CT Comptoneffekt 2

In einem Compton-Experiment sind ein Detektor für Gammastrahlen, der senkrecht zur einfallenden Strahlung angebracht ist, und ein Detektor für Elektronen so über eine Koinzidenzschaltung miteinander verbunden, dass nur dann Elektronen detektiert werden, wenn ein Photon im Gamma-detektor registriert wird. Dann ist die kinetische Energie der detektierten Elektronen:

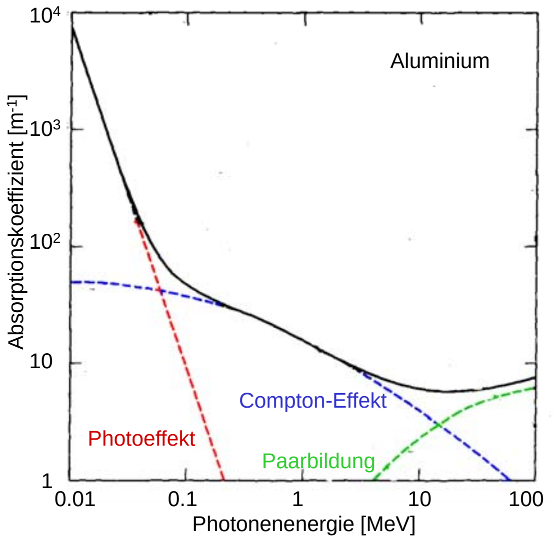
1. scharf definiert und von der Wellenlänge λ_{gamma} unabhängig.
2. scharf definiert und von der Wellenlänge λ_{gamma} abhängig.
3. kontinuierlich verteilt aber von der Wellenlänge λ_{gamma} unabhängig.
4. kontinuierlich verteilt und von der Wellenlänge λ_{gamma} abhängig.



2-2 / 5 Wechselwirkungsmechanismen

Beiträge zur Wechselwirkung hochenergetischer Photonen mit Materie:

- Photoeffekt
- Compton-Effekt
- Paarbildung



2-2 / 6 Zusammenfassung Photonen

Elektromagnetische Strahlung:

Teilchen

- Darstellung: Strom aus n Photonen/Volumeneinheit
- Photonenenergie: $E = h\nu = \hbar\omega; \quad \hbar \equiv \frac{h}{2\pi} = 1.0545887 \cdot 10^{-34}\, Js$
- Photonenimpuls: $\vec{p} = \hbar\vec{k}; \quad |\vec{p}| = \hbar k = h/\lambda = E/c$

Welle

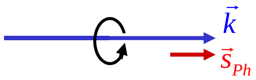
- Darstellung: $\vec{E}(\vec{r},t) = \vec{E}_0 \cdot e^{i(\omega t - \vec{k}\vec{r} + \varphi)}; \quad \vec{E} \perp \vec{B}; |\vec{E}| = c|\vec{B}|$
- Energiedichte: $w_{EM} = \varepsilon_0 |\vec{E}|^2 = n \cdot \hbar\omega \quad \rightarrow |\vec{E}| = \sqrt{n \cdot \hbar\omega / \varepsilon_0}$
- Impulsdichte: $\vec{\pi}_{EM} = n \cdot \hbar\vec{k}; \quad |\vec{\pi}_{EM}| = n \cdot \hbar k = n \cdot h/\lambda = w_{EM}/c$
- Intensität: $I = c \cdot w_{EM} = n \cdot c \cdot \hbar\omega$

2-2 / 7 Drehimpuls (Spin) des Photons

Quantenteilchen mit Eigendrehimpuls $\vec{s}_{Ph}$ (Spin), Impuls $\vec{p}$:

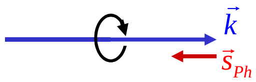
- Helizität: $\dfrac{\vec{p}\cdot\vec{s}_{Ph}}{|\vec{p}|\cdot|\vec{s}_{Ph}|}=\pm 1$

rechtshändig (σ^+)



links-zirkular polarisiert

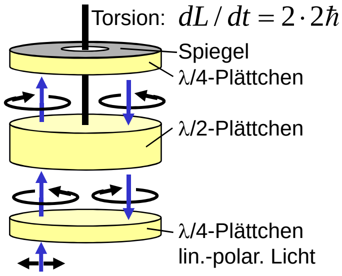
linkshändig (σ^-)



rechts-zirkular polarisiert

- Photonenspin: $\vec{s}_{Ph}=\pm\hbar\cdot\vec{k}\,/\,|\vec{k}|$

- Nachweis:
  - Drehimpulsänderung Atom bei Adsorption/Emission
  - direkt (Beth, 1936)



2-2 / 8 CT Polarisation

Wie groß ist der Gesamtdrehimpuls einer linear-polarisierten elektromagnetischen Welle aus n Photonen?

1. $+2\cdot\hbar\cdot n$
2. $+1\cdot\hbar\cdot n$
3. 0
4. $-1\cdot\hbar\cdot n$
5. $-2\cdot\hbar\cdot n$