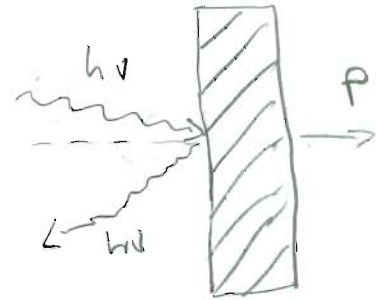
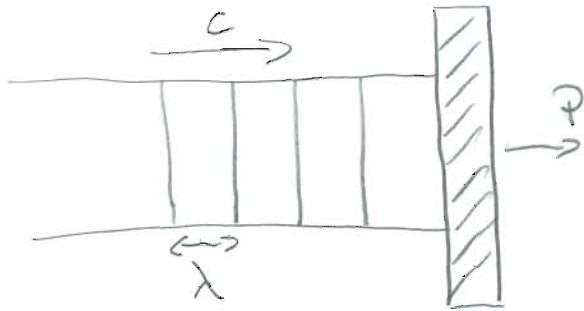


Strahlungsdruck:

- Druck ausgeübt durch Absorption oder Reflexion von elektromagnetischer Strahlung an einem Körper.



monochromatische Welle
mit Wellenlänge λ ($\nu = \frac{c}{\lambda}$)
und Ausbreitungsgeschwindigkeit c .

- Impulsübertrag auf Körper aus klassischer Elektrodynamik (Maxwell)

$$P = \frac{U}{c}$$

bei Absorption

$$P = \frac{2U}{c}$$

bei Reflexion

U : Energie der absorbierten oder reflektierten Strahlung

⇒ doppelter Impulsübertrag bei Reflexion

- Energiequantisierung der elektromagnetischen Welle
 $U = n h \nu$.

$$P = n \frac{h\nu}{c}$$

$$P = 2n \frac{h\nu}{c}$$

- Impuls eines Photons

(2)

$$p = \frac{h\nu}{c}$$

- Der Strahlungsdruck: (Absorption)

$$P_{\text{rad}} = \frac{F}{A} = \frac{\dot{p}}{A} = \frac{\dot{U}}{Ac} = \frac{I}{c} = w$$

↑
Impulsübertrag (Maxwell)

F: Kraft auf Körper

A: Fläche des Körpers

$P = \dot{U}$: absorbierte Strahlungsleistung

$I = \frac{P}{A}$: absorbierte Intensität

$w = \frac{I}{c}$: Energiedichte der absorbierten Strahlung

$$w = \epsilon_0 E^2 = \rho h\nu$$

mit Photondichte ρ
Anzahl Photonen

$$P_{\text{rad}}^{\text{qm}} = \frac{1}{A} \frac{dp}{dt} = \frac{1}{A} \underbrace{\rho}_{\substack{\text{Impuls pro} \\ \text{Photon}}} \frac{d(\rho A c dt)}{dt} = \rho_{\nu} S c = w$$

$$\stackrel{!}{=} \rho h\nu$$

$$\Rightarrow \boxed{p_{\nu} = \frac{h\nu}{c}}$$

ρ : Photonen-Dichte (Anzahl pro Volumen)

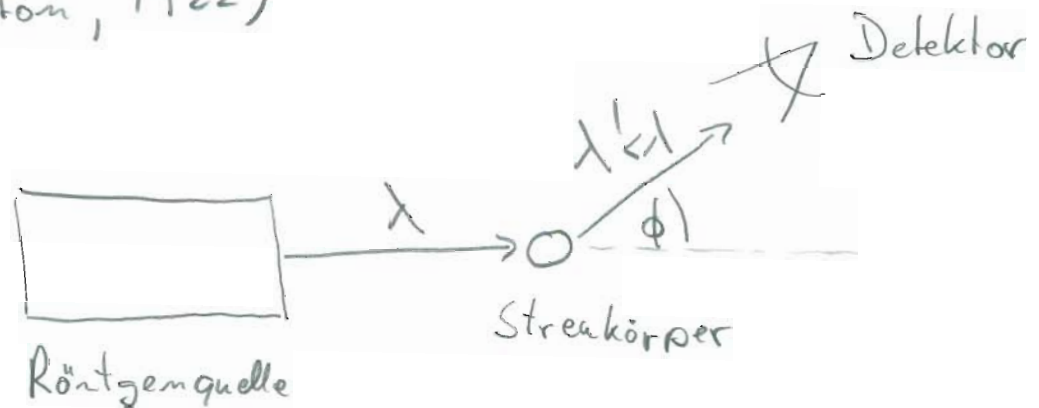
Der Compton-Effekt:

①

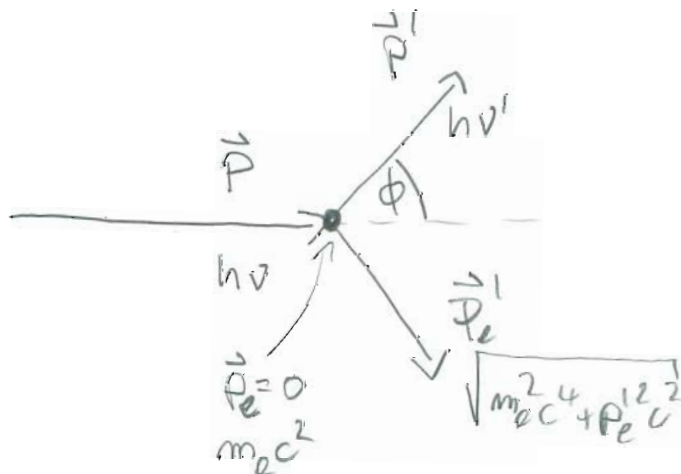
• Experimenteller Nachweis des Photon-Impulses

- Streuung von monochromatischer Röntgenstrahlung an Graphit
- Beobachtung der Verschiebung der Wellenlänge λ der gestreuten Strahlung zu längeren λ' (Compton, 1922)

• Aufbau:



- Photon mit Energie $h\nu$ und Impuls $\frac{h\nu}{c}$ streut an einem einzelnen freien e^- und verliert dabei einen Teil seiner Energie und seines Impulses.
- Beim Stoß zwischen e^- und Photon gelten Energie- und Impulserhaltung



Berechnung der Compton-Verschiebung:

(2)

• Energieerhaltung (relativistisch)

$$h\nu + \sqrt{m_e^2 c^4 + \underbrace{p_e^2 c^2}_{=0}} = h\nu' + \sqrt{m_e^2 c^4 + p_e'^2 c^2}$$

- $h\nu$; $(h\nu')$: Energie des Photons vor (nach) Stoß

- $|\vec{p}_e| = p_e = 0$; $(|\vec{p}_e'| = p_e')$: Impuls des e^- vor (nach) Stoß

- $m_e c^2$: Ruheenergie des e^-

⇒ aufgelöst nach $p_e'^2$

$$\begin{aligned} p_e'^2 &= \frac{1}{c^2} (h\nu - h\nu' + m_e c^2)^2 - m_e^2 c^2 \\ &= (p - p' + m_e c)^2 - m_e^2 c^2 \quad (*) \end{aligned}$$

• Impulserhaltung

$$\vec{p} + \underbrace{\vec{p}_e}_{=0} = \vec{p}' + \vec{p}_e'$$

$|\vec{p}| = \frac{h\nu}{c}$; $|\vec{p}'| = \frac{h\nu'}{c}$: Impuls des Photons vor (nach) dem Stoß

$$\begin{aligned} \vec{p}_e'^2 &= (\vec{p} - \vec{p}')^2 = \vec{p}^2 + \vec{p}'^2 - 2\vec{p}\vec{p}' \\ &= p^2 + p'^2 - 2pp' \cos \phi \quad (**) \end{aligned}$$

- Eliminiere p_e' und bestimme Änderung des Photonimpuls bzw. Änderung der Photon-Frequenz bzw. Wellenlänge

$$\cancel{p^2 + p'^2} - 2pp' \cos \phi = \cancel{p^2 + p'^2 + m_e^2 c^2} + 2pm_e c - 2p'm_e c - 2pp' - \cancel{m_e^2 c^2} \quad (3)$$

$$\Rightarrow 2pp'(1 - \cos \phi) = 2m_e c (p - p') \quad \text{mit } p^{(1)} = \frac{h\nu^{(1)}}{c} = \frac{h}{\lambda^{(1)}}$$

$$\Rightarrow \boxed{\lambda' - \lambda = \Delta \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \phi)}$$

Wellenlängenverschiebung des gestreuten Photons

- Compton-Wellenlänge des Elektrons

$$\boxed{\lambda_c = \frac{h}{m_e c}} = 2.4 \cdot 10^{-12} \text{ m}$$

- für $\boxed{\phi = \frac{\pi}{2}} \Rightarrow \lambda' = \lambda + \lambda_c$

d.h. Wellenlänge verlängert sich um λ_c

- kaum messbar für sichtbares Licht

↳ großer Effekt für Röntgen oder γ -Strahlung

- Verschiebung ist unabhängig von λ des einfallenden Lichts